

Artigos
científicos

Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte-MG

Miguel Fernandes Felipe
Professor Assistente do Departamento de Geociências da UFJF

Antônio Pereira Magalhães Junior
Professor Associado do Departamento de Geografia do IGC/UFMG

Resumo

As nascentes são sistemas ambientais importantes para a manutenção do equilíbrio hidrológico, geomorfológico e biológico. Porém, em espaços metropolitanos do Brasil, as redes fluviais encontram-se intensamente modificadas de modo que as nascentes são drenadas ou aterradas, em sua maioria. Mesmo em unidades de conservação, a qualidade dos solos e da água é afetada devido aos impactos do meio externo. Esse trabalho avalia a qualidade ambiental de nascentes em três parques urbanos em Belo Horizonte, Minas Gerais. Os procedimentos metodológicos adotados permitem verificar as condições da água e da área circunvizinha de 79 nascentes. Foram utilizados testes microbiológicos para analisar a qualidade das águas e um protocolo macroscópico para a qualidade ambiental. Houve uma acentuada variação das respostas nos testes aplicados, indicando que as características espaciais dos parques têm grande influência na qualidade das nascentes. Esse fato torna ainda mais relevante os processos de gestão das unidades de conservação. Entretanto, algumas características das nascentes podem aumentar sua vulnerabilidade à degradação, fato que demanda futuros estudos para explorar melhor a temática.

Abstract:

The river springs are environmental systems extremely important to the maintenance of hydrological, geomorphological and biological equilibrium. Nevertheless, the fluvial network is highly modified in the metropolitan spaces of Brazil, so the river springs are drained or buried. Even though into the conservation units, the impacts from outside commonly affect the quality of soils and water. This work aims to evaluate the environmental quality of river springs into three urban parks at Belo Horizonte, Minas Gerais. The adopted methodological procedures verify the conditions of water and of the surrounding area at 79 river springs. It was used microbiological tests to analyze water quality and a macroscopic protocol to the environmental quality. The variation in the test's answers was too high, showing that the spatial characteristics of the parks have a huge influence in the river springs quality. This conclusion reaffirms the importance of conservation units' management. Although, some characteristics of the river springs can improve their vulnerability to degradation; it does deserve further works to better explore this theme.

Recebido 08/2012
Aprovado 09/2012

Palavras-chave: nascente, qualidade da água, impactos macroscópicos, parques urbanos.

Key words: river spring, water quality, macroscopic impacts, urban parks.

miguel.felippe@ufjf.edu.br
magalhaesufmg@yahoo.com.br

Introdução

As nascentes são sistemas de importância primeira para a manutenção do equilíbrio hidrológico e ambiental *lato sensu* das bacias hidrográficas. Configuram-se como resultado de um conjunto de processos que envolvem desde a dinâmica hidrogeológica até aspectos geomorfológicos e antropogênicos da paisagem. Conceitualmente, a nascente é “um sistema ambiental em que o afloramento da água subterrânea ocorre naturalmente de modo temporário ou perene, integrando à rede de drenagem superficial” (FELIPPE, 2009, p. 99).

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 a necessária proteção das nascentes ao longo do tempo devido, em parte, à falta de operacionalização do aparato legal, mas também aos diversos interesses especulativos e imobiliários do espaço urbano (MOURA, 1994).

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, dentre outros objetivos, a proteção das nascentes – Programa Drenurbs/Nascentes (COSTA *et al.*, 2008; MEDEIROS, 2008). O principal fator de impacto no território municipal é a extensa impermeabilização do solo, o que promove a descaracterização ou mesmo a destruição de grande parte das nascentes de Belo Horizonte (REIS *et al.*, 2012; FELIPPE *et al.*, 2011; GENRICH, 2002). 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.

Hall (1984) apresenta uma série de impactos decorrentes da urbanização em um sistema hídrico. De uma forma geral, esses podem ser resumidos em dois grupos de 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, descaracterizando e desequilibrando os 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 da intensidade das inundações (HALL, 1984).

Enumera-se, no QUADRO 1, uma série de impactos ambientais urbanos e suas possíveis e prováveis conseqüências qualitativas e quantitativas das nascentes.

Quadro 1 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: FELIPPE; MAGALHÃES, 2009.

Uma das principais consequências 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.

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 consequências graves. Segundo Genrich (2002), em 1994 todas as nascentes da alta porção da bacia do córrego Vilarinho – norte de Belo Horizonte – estavam associadas a cursos d'água em canais naturais com margens vegetadas; porém, em 2001, verificou-se que várias nascentes foram canalizadas ou mesmo extintas.

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 modificações nas áreas de contribuição à montante são potencialmente impactantes às nascentes. Nesse sentido, a bacia hidrográfica ganha importância como unidade de gestão e proteção de nascentes.

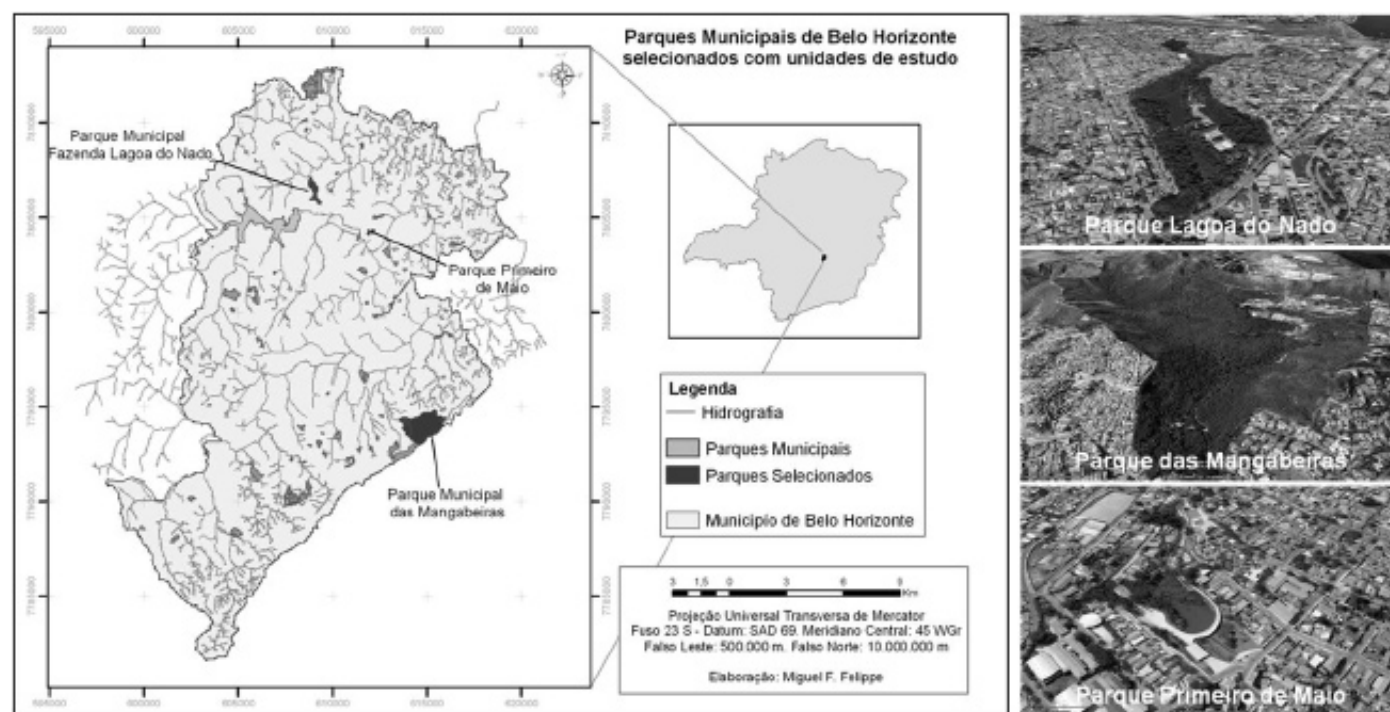
Tendo como pano de fundo essa conjuntura metropolitana de impactos ambientais na dinâmica das nascentes, o trabalho busca discutir a avaliação da qualidade ambiental e das águas de nascentes localizadas em três unidades de conservação urbanas do município de Belo Horizonte.

A partir de campanhas de campo e análises biológicas, possibilitou-se a interpretação de impactos e suas conseqüências ambientais para as nascentes. Com isso, um exercício de reflexão teórico permite vislumbrar relações causais, extremamente úteis para o manejo das nascentes, sobretudo em unidades de conservação.

Procedimentos metodológicos

Foram estudadas nascentes de três unidades de conservação de Belo Horizonte mapeadas em campo: Parque Municipal das Mangabeiras, Parque Fazenda Lagoa do Nado e Parque Primeiro de Maio (FIGURA 1). No total, 79 nascentes foram estudadas, representando as duas principais unidades geológico-geomorfológicas do município (Serras do Quadrilátero Ferrífero e Depressão de Belo Horizonte). Ademais, as variabilidades do contexto urbano da capital também são representadas pelas nascentes estudadas, as quais estão localizadas em bacias com diferentes densidades e tipos de ocupações urbanas.

FIGURA 1 Localização dos Parques estudados.



Fonte: elaborado pelos autores.

Os dados primários foram obtidos em trabalhos de campo organizados de forma que todas as nascentes estudadas fossem visitadas no período de excesso hídrico e no período de deficiência hídrica. *In loco*, foi realizada a caracterização ambiental das nascentes, a avaliação de parâmetros macroscópicos para o Índice de Impacto Ambiental em Nascentes e a coleta de amostras para as análises bacteriológicas.

Índice de impacto ambiental em nascentes – IIAN

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 do Índice de Impacto Ambiental em Nascentes – IIAN, apresentado por Gomes *et al.* (2005a) e aprimorado por Felipe (2009) e Paraguaçu *et al.* (2010). Visa-se a utilização de uma proposta de classificação do grau de impacto de nascentes que pode ser considerada simples, prática, didática e com resultados satisfatórios. 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 Águas (GOMES *et al.*, 2005a).

O objetivo deste procedimento foi de verificar de forma qualitativa o grau de proteção em que as nascentes se encontram. Para tanto, o IIAN foi relido criticamente, de forma a adaptar suas variáveis às necessidades e objetivos deste trabalho, sem, entretanto, ferir os pressupostos metodológicos originais (PARAGUAÇU *et al.*, 2010; FELIPPE, 2009). 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.

De acordo com os estudos de Paraguaçu *et al.* (2010) e Gomes *et al.* (2005a), os onze parâmetros escolhidos para avaliação são qualificados de acordo com o QUADRO 2. O atributo definido – bom, médio ou ruim – é convertido em um escore. O índice resulta do somatório dos escores creditados a cada parâmetro. 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 3 apresenta a interpretação desses valores.

Quadro 2 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 3 **Classificação das nascentes quanto aos impactos macroscópicos (somatória 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.

Parâmetros microbiológicos de qualidade de água

A literatura acadêmica relata uma série de parâmetros utilizados para qualificar as águas. Nos meios urbanos brasileiros, 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 a sua qualidade e colocando em risco a população usuária da água.

Em termos biológicos, a presença de microorganismos patogênicos na água é essencial na interpretação de seu nível de poluição/contaminação. Doenças veiculadas por meio de águas contaminadas respondem por cerca de 70% das ocorrências médicas no mundo (BARBOSA; BARRETO, 2008), destacando-se cólera, febre tifóide e paratifóide, gastroenterite, salmonelose e diarreias (MORMUL *et al.*, 2006; VON SPERLING, 2005).

A possibilidade de transmissão de doenças pela água pode ser avaliada com baixo custo de forma indireta, através de organismos indicadores de contaminação fecal. Estes não são necessariamente patogênicos, mas sua origem – sistemas intestinais de animais de sangue quente – está associada à presença de outros microorganismos causadores de doenças (MORMUL *et al.*, 2006; VON SPERLING, 2005).

A legislação brasileira proíbe a presença de bactérias do grupo coliformes na água destinada ao consumo humano, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras (BRASIL, 2004). 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 (...). (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, nos quais em todas as nascentes estudadas foram encontrados Coliformes, inclusive do tipo termotolerante (origem fecal).

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 termotolerantes* e *Salmonella sp.*, em todas as nas-

centes perenes identificadas. Foi utilizada a técnica 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.

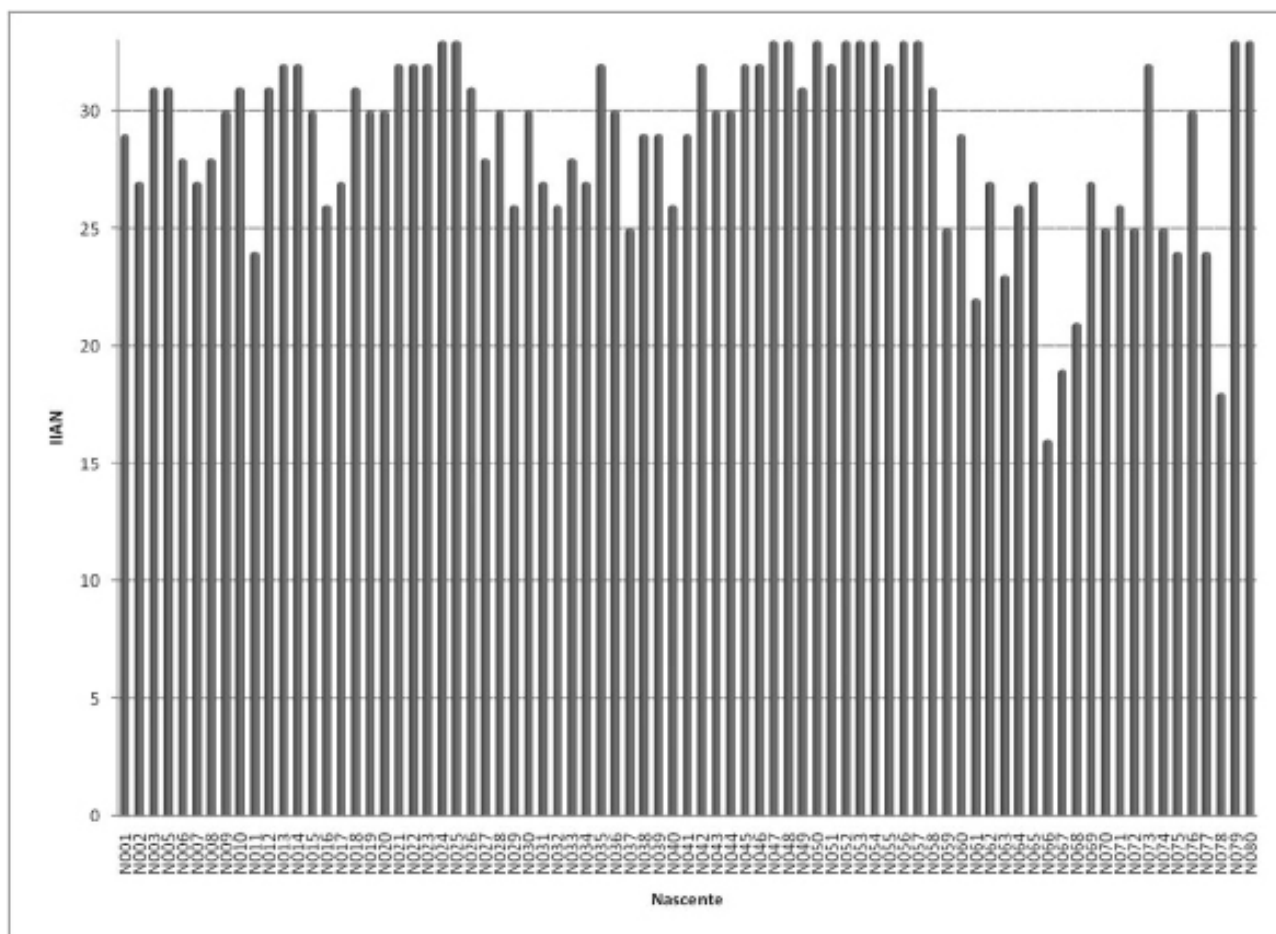
As coletas foram realizadas no período de seca, em junho e julho de 2009. Por isso, somente 58 nascentes tiveram seus parâmetros microbiológicos avaliados, justamente aquelas que mantinham fluxos no período de estiagem pluviométrica. Todas as coletas foram realizadas com o mínimo de contato possível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

Resultados

Impactos macroscópicos

A FIGURA 2 representa graficamente o IIAN 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.

Figura 2 Gráfico do índice de impacto ambiental macroscópico das nascentes estudadas.

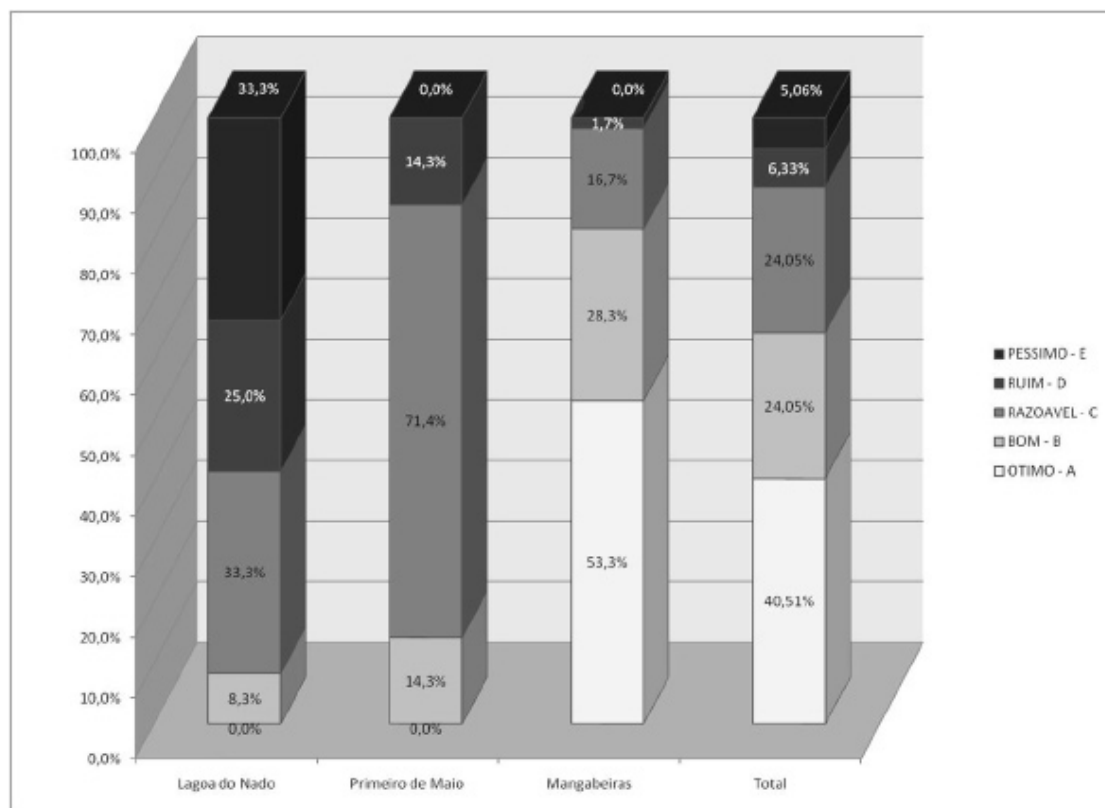


Fonte: Pesquisa de campo.

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. Apenas nove nascentes apresentaram índice abaixo de 25, correspondendo a 11,4% do total. O grau de proteção mais crítico, porém, é verificado em três nascentes – 3,8% – que apresentam valores abaixo de 20. Os resultados encontrados são sensivelmente melhores dos divulgados por Gomes *et al.* (2005a) para nascentes urbanas de Uberlândia-MG.

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 (FIGURA 3).

Figura 3 Gráfico da distribuição percentual do grau de proteção das nascentes estudadas.



Fonte: Pesquisa de campo.

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. 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 encontram. 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.

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, uma vez que a área do parque é pequena, fazendo com que as nascentes estejam próximas aos 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 Parque Lagoa do Nado e a classe D, 25%. Ressalta-se 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.

Os resultados mencionados podem ser explicados pelos valores medianos dos parâmetros que tiveram resultados muito positivos nos outros parques, como *cor da água, odor e espumas*, fato associado ao péssimo resultado dos parâmetros *usos, acesso e equipamentos urbanos*, todos com metade ou mais das nascentes classificadas como ruins. 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.

O quadro verificado reitera a heterogeneidade entre as unidades de conservação. Notadamente, suas características espaciais, bem como de seu entorno imediato, definem as possibilidades de proteção em seu interior. A bacia hidrográfica pode ser um recorte chave na interpretação da maior ou menor suscetibilidade aos impactos em 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 área externa situada à montante. Porém, esse raciocínio não é linear, já que o Parque Primeiro de Maio, apesar de ter uma área aproximadamente dez vezes menor do que o Lagoa do Nado, apresenta nascentes com melhor qualidade. Além disso, o entorno do Parque das Mangabeiras possui uma densidade de construções 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 por vias secundárias e minimiza processos erosivos. Essas características tomadas em conjunto, possibilitam explicar o excelente resultado obtido pelas nascentes desse parque no IIAN.

Qualidade microbiológica da água

Também foi registrada uma grande variabilidade quanto à presença de Coliformes e *Salmonella sp.* nas nascentes estudadas. 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 termotolerantes foram encontrados em apenas 20 amostras (31%). Já as Salmonelas, foram verificadas em 24,1% dos casos. Os resultados encontrados condizem com os relatos de Mormul *et al.* (2006) e Gomes *et al.* (2005a).

Para Coliformes totais, a média encontrada nas 58 amostras foi de 1.146 UFC/100ml, valor acima do esperado considerando-se o ambiente de nascente. Apesar de a 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.

A presença de Coliformes termotolerantes e *Salmonella* apresentou 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 termotolerantes 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.

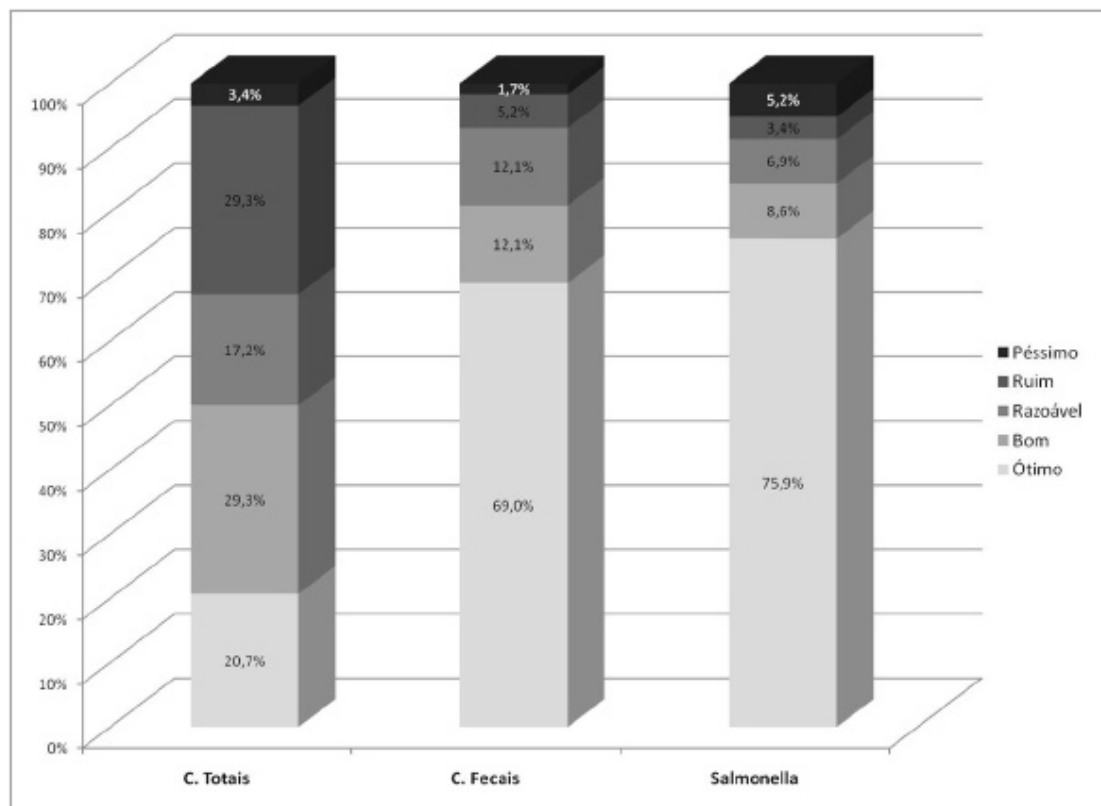
Vislumbrando-se uma interpretação qualitativa dos dados, foram estabelecidas classes para os dados de microorganismos mensurados (QUADRO 4), tendo sido utilizado o método da quebra natural. Cinco classes foram criadas e qualificadas em função da possibilidade de contaminação por organismos patogênicos em: ótimo, bom, razoável, ruim e péssimo. Os dados classificados são apresentados na FIGURA 4.

Quadro 4 Intervalos de classificação avaliação microbiológicas das águas

	C. Totais	C. Termotolerantes	Salmonella
Ótimo	0	0	0
Bom	0 - 360	0 - 120	0 - 60
Razoável	361 - 840	121 - 360	61 - 180
Ruim	841 - 4.140	361 - 900	181 - 720
Péssimo	4.141 – 15.000	901 – 3.000	721 – 1.400

Fonte: organização do autor.

Gráfico da distribuição percentual de amostras de água das nascentes por classes de qualidade microbiológica. Fonte: Pesquisa de campo e análise laboratorial.



Os Coliformes totais se apresentam mais bem distribuídos em função das classes estipuladas, já que são coliformes “ambientais” (VON SPERLING, 2005), naturalmente encontrados no meio. Assim, poucas amostras apresentaram zero UFC desses microorganismos. Por outro lado, ressaltase 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 a recreação (BRASIL, 2005; BRASIL, 2004; VON SPERLING, 1998).

Quanto aos Coliformes termotolerantes, dos 31% das amostras que registraram a presença destas bactérias, mais da metade encontra-se nas classes “bom” e “razoável”, indicando valores inferiores à 360 UFC/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 de essas 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 da água por *Salmonella sp.*, que não são estipulados limites de tolerância para essas bactérias em relação à potabilidade ou à balneabilidade da água (BRASIL,

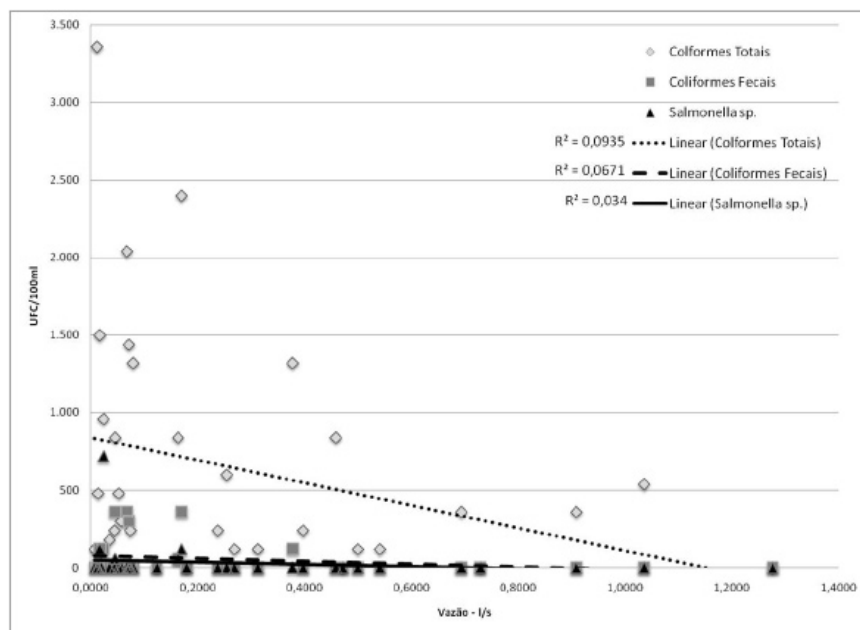
2005; BRASIL, 2004). Considera-se que simplesmente sua presença já indica a contaminação por resíduos fecais. Ainda assim, 24,9% das amostras coletadas foram positivas para *Salmonella sp.* Apesar de 15,5% encontrarem-se nas classes “bom” e “razoável” – com valores inferiores a 180 UFC/100ml –, expressivos 5,2% encontram-se na classe “péssimo”, dois casos, inclusive, superando 1.000 UFC/100ml.

Contudo, a interpretação dos dados mostrou que a presença de microorganismos indicadores de patogenia não é função somente da proximidade das fontes de poluição. Não foi verificada similaridade quanto à presença de bactérias em nascentes situadas a distâncias semelhantes de fontes de poluição. Portanto, 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 pelas bactérias.

Considerando que o tempo de permanência da água no solo é função da energia e velocidade do fluxo, duas variáveis podem ser utilizadas nessa averiguação: tipo de exfiltração e vazão. Somente em 35 nascentes foi possível mensurar a vazão durante o inverno, dificultando análises estatísticas. O tipo de exfiltração pode, então, ser utilizado de forma complementar, permitindo somente análises qualitativas.

A FIGURA 5 apresenta a dispersão dos valores obtidos para as análises microbiológicas em função da vazão das nascentes, evidenciando a linha de tendência e o R^2 . Nota-se que apesar da inclinação negativa da linha de tendência linear para os três casos, os valores de R^2 são muito baixos, tornando os resultados inconclusivos. Muito provavelmente, este efeito é devido à interferência de outras características das nascentes na presença das bactérias.

Figura 5 **Dispersão de Coliformes totais, Coliformes termotolerantes e *Salmonella sp.* em função da vazão.**

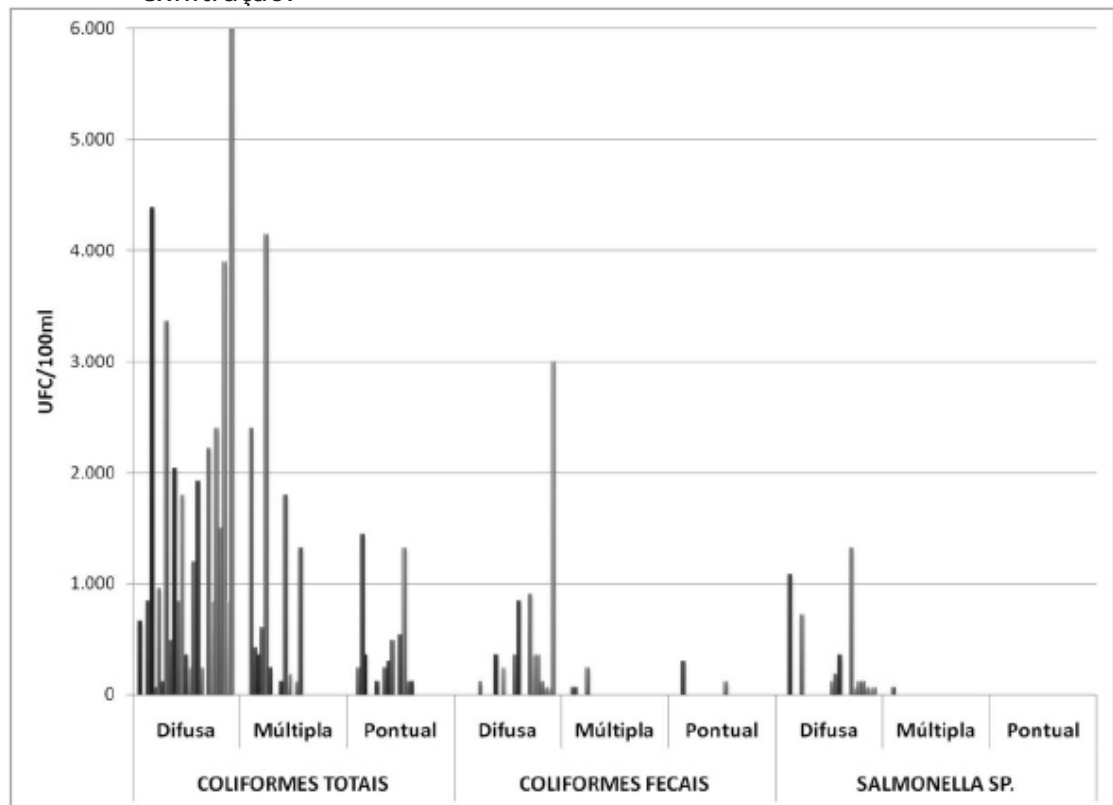


Fonte: Pesquisa de campo e análise laboratorial.

Por hora, podem-se ampliar os resultados obtidos a partir da interpretação da forma de exfiltração, que é evidenciada na FIGURA 6. Sabe-se que a exfiltração difusa é aquela que apresenta fluxos de menor velocidade, promovendo áreas encharcadas em que a água tende a manter maior contato com os microorganismos presentes no solo. Por outro lado, a exfiltração pontual é a de maior velocidade, em que a água flui 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.

Apesar do maior número de nascentes difusas, 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. As Salmonelas praticamente só foram encontradas em nascentes com exfiltração difusa, não havendo nenhum caso nas pontuais.

Figura 6 **Distribuição dos valores de *Coliformes totais*, *Coliformes termotolerantes* e *Salmonella sp.* por nascente, em função do tipo de exfiltração.**



Fonte: Pesquisa de campo e análise laboratorial.

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, se por um lado não foi registrada presença de Salmonela nas

nascentes com exfiltração pontual, por outro 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 ocorre para as difusas quanto aos Coliformes totais.

Apesar de não ser possível visualizar 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 superfícies contaminadas. Sendo assim, tendo em vista que as nascentes difusas são mais suscetíveis à contaminação, os processos de manejo e proteção a elas destinado deve ser distinto.

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 apontaria se as fontes de poluição são constantes, ou se os resultados mostram um processo inerente ao meio. 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 à sua vulnerabilidade à contaminação.

Considerações finais

As nascentes são consideradas pelo senso comum como ambientes equilibrados, inclusive, com água potável. Muitos proprietários rurais utilizam a água de nascentes não apenas para irrigação ou dessedentação animal, mas também para consumo doméstico. Porém, essa associação das nascentes com ambientes naturais intocados não se confirma em muitas pesquisas científicas. O uso e a ocupação do solo nas áreas de entorno, bem como os impactos derivados, podem alterar substancialmente a qualidade ambiental das nascentes como verificado pelos resultados deste trabalho.

Conhecer as particularidades tipológicas e genéticas das nascentes auxilia o estudo do seu grau de vulnerabilidade. Como foi demonstrado, nascentes difusas tendem a ser mais facilmente contaminadas por organismos patogênicos quando em contato com fontes poluidoras.

Além das próprias características ambientais das nascentes, as estratégias de proteção também determinam a sua qualidade. O IIAN apresentou valores consideravelmente diferentes nos três parques estudados. Enquanto o índice foi, de uma forma geral, bom e excelente para as nascentes do Parque das Mangabeiras, a qualidade verificada no Parque Lagoa do Nado foi bastante inferior.

Os valores dos testes bacteriológicos corroboraram o IIAN. A maioria das nascentes do Parque das Mangabeiras apresentou baixos valores de Coliformes e *Salmonella* sp. Já nos parques Primeiro de Maio e Lagoa do Nado os valores foram consideravelmente mais elevados. Esses resultados demonstram que o simples estabelecimento de unidades de conservação não é o suficiente para garantir a qualidade ambiental e da água das nascentes. A gestão das UCs deve estar em concordância com a vulnerabilidade de suas nascentes, buscando-se minimizar ou mitigar os inevitáveis impactos decorrentes do uso do solo nas áreas de entorno urbanizadas.

Mesmo que extremamente difícil em áreas ocupadas e adensadas como as metrópoles, a estratégia de delimitação das unidades de conservação urbanas em consonância com os limites topográficos de bacias hidrográficas pode ser eficiente na busca da proteção das nascentes e da qualidade das águas fluviiais. Ainda que se saiba que os fluxos subterrâneos não respondem diretamente à topografia, a proteção das bacias de contribuição das nascentes minimiza os impactos relacionados à infiltração

nas áreas de recarga, à drenagem pluvial, ao aporte de sedimentos e aos processos erosivos. Em concomitância, a adoção de métodos de baixo custo para o monitoramento da qualidade das nascentes contribui para que os atores governamentais acompanhem o estado ambiental do sistema e identifiquem as pressões e os impactos.

Os processos de gestão das UCs não devem se restringir ao interior das unidades de conservação, já que envolvem a gestão de unidades territoriais complexas. 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 buscando evitá-los no futuro. A proteção das áreas de recarga subterrânea contribui para a proteção da quantidade e da qualidade da água exfiltrada. Por sua vez, a proteção das nascentes, incluindo o respeito às Áreas de Preservação Permanente, é uma das dimensões a serem contempladas nos processos de gestão das áreas úmidas e sistemas hidrológicos superficiais.

Agradecimentos: Ao Grupo de Pesquisa Geomorfologia e Recursos Hídricos (CNPq) e ao Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da UFMG, pelo apoio técnico; ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências bibliográficas

- 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.
- BRASIL. *Portaria
ANVISA n. 518*, de
25 de março de 2004.
Ministério da Saúde,
2004.
- BRASIL. *Resolução
CONAMA n. 357*, de
17 de março de 2005.
Ministério do Meio
Ambiente, 2005.
- CARMO, R. L.
Population and water
resources in Brazil.
In: HOGAN, D. J.;
BERQUÓ, E.; COSTA,
H. S. M. *Population and
environment in Brazil: Rio
+ 10*. Campinas: CNPD,
ABEP, NEPO, 2002.
- COSTA, H. S. M.;
BOMTEMPO,
V.; KNAUER;
S. PROGRAMA
DRENURBS: uma
discussão sobre a
constituição de alianças
de aprendizagem na
Política de Saneamento
de Belo Horizonte. In:
XVI Encontro Nacional
de Estudos Populacionais,
2008, Caxambu. *Anais
da...* Caxambu, 2008.
- FELIPPE, M. F.
*Caracterização e tipologia
de nascentes em unidades
de conservação de Belo
Horizonte-MG com base
em variáveis geomorfológicas,
hidrológicas e ambientais*.
Dissertação (mestrado) -
Universidade Federal de
Minas Gerais, 2009.
- FELIPPE, M. F.;
MAGALHAES JR.,
A. P. Consequências
da ocupação urbana na
dinâmica das nascentes
em Belo Horizonte-MG.
In: VI Encontro Nacional
sobre Migrações, 2009,
Belo Horizonte. *Anais
da...* Belo Horizonte:
ABEP, 2009.
- FELIPPE, M. F.;
MATOS, R. E. S.;
MAGALHAES JR., A. P.;
MAIA-RODRIGUES, B.;
COSTA, A.; GARCIA,
R. Evolução da ocupação
urbana das zonas
preferenciais de recarga
de aquíferos de Belo
Horizonte-MG. *Revista de
Geografia - PPGeo - UFJF*,
v. 2, p. 1-9, 2011.
- GENRICH, A. V.
S. *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 dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: análise macroscópica. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 17 (32). p. 103-120. Jun. 2005a.
- 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. *Anais do...*, 2005b.
- HALL, M. J. *Urban Hydrology*. London: Elsevier Applied Science, 1984.
- 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.
- MORMUL, R. P.; KWIATKOWSKI, A.; ZERBINI, D. L. N.; FREITAS, A. A.; ALMEIDA, A. 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, p. 36-41. 2006.
- MOURA, H. S. Habitação e produção do espaço em Belo Horizonte. In: MONTE-MÓR, R. L. M. (coord). *Belo Horizonte: espaços e tempos em construção*. Belo Horizonte: CEDEPLAR/PBH. p. 51-77. 1994.
- PARAGUAÇU, L.; MIRANDA, V.; FELIPPE, M.; MAGALHÃES JR, A. Influência da urbanização na qualidade das nascentes de parques municipais em Belo Horizonte-MG. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2010, Recife-PE. *Anais do...*, 2010.
- REIS, P.; PARIZZI, M.; MAGALHÃES, D. M.; MOURA, A.C.M. O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do leitão, bacia do Ribeirão Arrudas. *Geociências*, Rio Claro. v. 31, n. 1. 2012.
- THOMAS, M. F. *Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes*. Chichester: John Wiley & Sons, 1994.
- VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos de água e lançamento de efluentes líquidos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 3, n.1. p. 111-132. jan/mar, 1998.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.