

# VALIDAÇÃO DO MAPA DE VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL (MG) POR CORRELAÇÕES DE MAPAS HIDROQUÍMICOS DE NITRATO

Débora Pereira<sup>1</sup>; Paulo Galvão<sup>2</sup>; Thiago Lucon<sup>3</sup>; Pedro Assunção<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Ouro Preto. *Campus* Morro do Cruzeiro, Ouro Preto (MG). [deboralp1@gmail.com](mailto:deboralp1@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Ouro Preto. *Campus* Morro do Cruzeiro, Ouro Preto (MG). [hidropaulo@gmail.com](mailto:hidropaulo@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Ouro Preto. *Campus* Morro do Cruzeiro, Ouro Preto (MG). [thiago.n.lucon@gmail.com](mailto:thiago.n.lucon@gmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Ouro Preto. *Campus* Morro do Cruzeiro, Ouro Preto (MG). [pedroassuncao94@hotmail.com](mailto:pedroassuncao94@hotmail.com)

**Palavras-Chave:** Vulnerabilidade; Contaminação; Carste; SIG

## INTRODUÇÃO

Com o crescimento da taxa populacional, a alta demanda por recursos hídricos pode se tornar crítica, dependendo da disponibilidade de água potável. Grande parte da água consumida pela humanidade é oriunda de reservas subterrâneas, e devido à ocupação do solo por áreas urbanas, agrícolas e pecuárias, o risco de contaminação de aquíferos pode gerar problemas no desenvolvimento econômico e social de uma região. Estudos que visam a caracterização de áreas vulneráveis à contaminação de aquíferos podem auxiliar nesse planejamento do controle da qualidade da água. O ambiente cárstico, por ser hidrogeologicamente mais heterogêneo e anisotrópico, possui aquíferos com alto potencial de vulnerabilidade à contaminação, devido a velocidade de fluxo da água ser consideravelmente maior (Goldsheider e Drew 2007).

Existem diversas metodologias para determinar e mapear a vulnerabilidade intrínseca do aquífero (Magiera 2000), sendo que a escolha do método deve ser de acordo com o objetivo do trabalho, as informações disponíveis da área e a escala de avaliação (Auge, 2004). Em ambientes cársticos, a aplicação do método de índice EPIK é a mais utilizada na região da costa Mediterrânea, e foi desenvolvido especificamente para este propósito e leva em conta a influência da natureza heterogênea cárstica. Como os mapas de vulnerabilidade geralmente não são validados, a qualidade do mapa sempre pode ser posta em dúvida. Os mapas de vulnerabilidade geralmente formam a base para o delineamento de zonas de proteção de água potável. A aceitação das restrições de uso da terra depende da confiabilidade do mapa. Consequentemente, uma validação é favorável em muitos casos (Goldsheider 2001).

Para isso, o COST Action 620 (*European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research*) sugere uma validação usando os seguintes métodos: (1) hidrografia, gráficos de propriedades químicas, bacteriológicas; (2) técnicas com traçadores; (3) balanço hídrico; (4) simulações numéricas; e (5) estudos analógicos (Daly et al. 2001). Holman et al. (2005) validaram um método intrínseco de vulnerabilidade à água subterrânea usando um banco de dados nacional de nitrato e algumas análises de covariância e variância. Lasserre et al. (1999) desenvolveram um modelo simples de correlação baseado em SIG para descrever o transporte subterrâneo de nitratos.

Nesse contexto, a pesquisa buscou validar o mapa de vulnerabilidade intrínseca da bacia do rio São Miguel por meio de estudos análogo, utilizando o mapeamento hidroquímico produzido por Lucon (2018) com os teores anômalos de nitrato acima dos valores permitidos pela Resolução do CONAMA nº 396 (2008). A bacia do rio São Miguel ( $\approx 520 \text{ km}^2$ ) localiza-se no centro oeste de Minas Gerais. Está inserida no extremo meridional da bacia do rio São Francisco e na porção sul do Cráton homônimo, com presença de rochas carbonáticas neoproterozoicas do Grupo Bambuí, pertencentes à Formação Sete Lagoas (Alkmim e Martins-Neto 2001), com exposições secundárias do embasamento granito-gnáissico pertencentes ao Complexo Campo Belo (Ribeiro et al. 2008).

## MATERIAS E MÉTODOS

O método EPIK (Doerfliger e Zwahlen 1998) é realizado por meio do mapeamento sistemático dos seguintes parâmetros: epicarste ( $E$ ); cobertura de proteção ( $P$ ); condições de infiltração ( $I$ ) e desenvolvimento cárstico ( $K$ ). O somatório desses quatro atributos ponderados produz um fator de proteção ( $F$ ), representado pela Equação 1, o qual será atribuído a cada área na bacia cárstica investigada, de acordo com o fluxograma e os respectivos mapas temáticos prévios (Fig. 1).

$$F = \alpha E_i + \beta P_i + \gamma I_i + \delta K_i \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,  $F$  = índice de proteção;  $E_i$ ,  $P_i$ ,  $I_i$ ,  $K_i$  = classificação relativa aos parâmetros EPIK;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  = coeficiente de ponderação.

O desenvolvimento do mapa de vulnerabilidade consistiu em três etapas: revisão bibliográfica, levantamento de dados em campo e análise e processamento de dados. A pesquisa foi embasada na carta geológica 1:100.000 da Folha Piumhi (SF.23-V-D-II) (CPRM 2008), carta topográfica 1:50.000 de Piumhi (IBGE 1970), carta geomorfológica 1:100.000 da Folha Piumhi (Martins 2013), arquivos vetoriais e produtos cartográficos pré-existentes que englobam a área de estudo. Assim como diversos trabalhos que aplicaram a metodologia EPIK, foi realizada uma adaptação dos parâmetros de acordo com particularidades da bacia hidrográfica do rio São Miguel. A etapa de campo (junho de 2017) consistiu na prospecção e georreferenciamento de feições cársticas, pontos de controle do uso e ocupação e medições de espessura do solo dentro dos limites da bacia. Posteriormente, foram realizadas etapas de geoprocessamento dos dados obtidos em campo, por meio do software ArcGIS 10.3.

Para a validação do mapa de vulnerabilidade intrínseca, foi utilizado o mapa de concentrações anômalas de  $\text{NO}_3^-$  das águas subterrâneas da bacia produzido por Lucon (2018). Os dados foram adquiridos por meio de um monitoramento sazonal, duas na estiagem (agosto/setembro de 2015 e julho de 2016) e duas no período chuvoso (novembro/dezembro de 2015 e março de 2016), coletando um total de 153 amostras de águas subterrâneas a partir dos 39 pontos de monitoramento distribuídos ao longo da bacia. Além disso, os resultados foram comparados a valores permitidos pela Resolução do CONAMA nº 396 (2008) para verificar se as águas da região se encontram em conformidade com os padrões para consumo humano (Lucon, 2018).

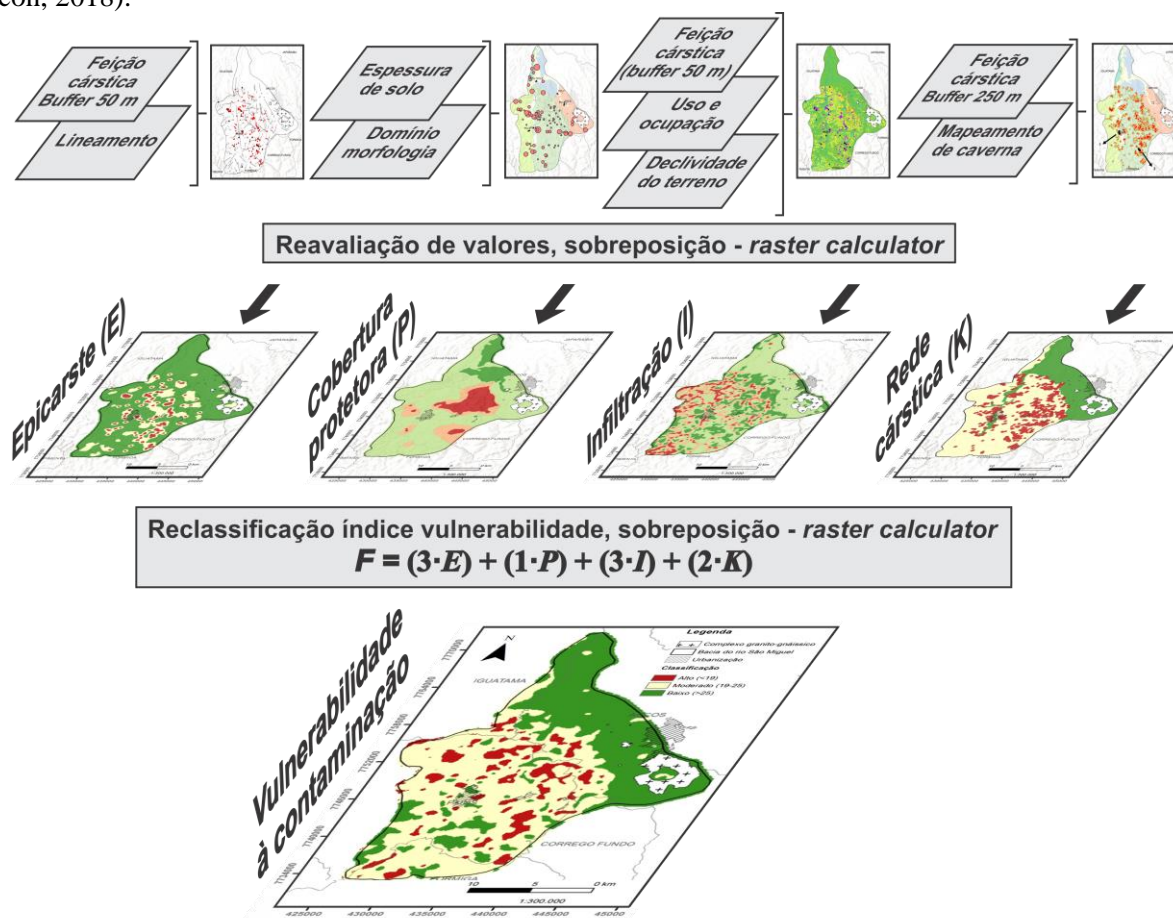


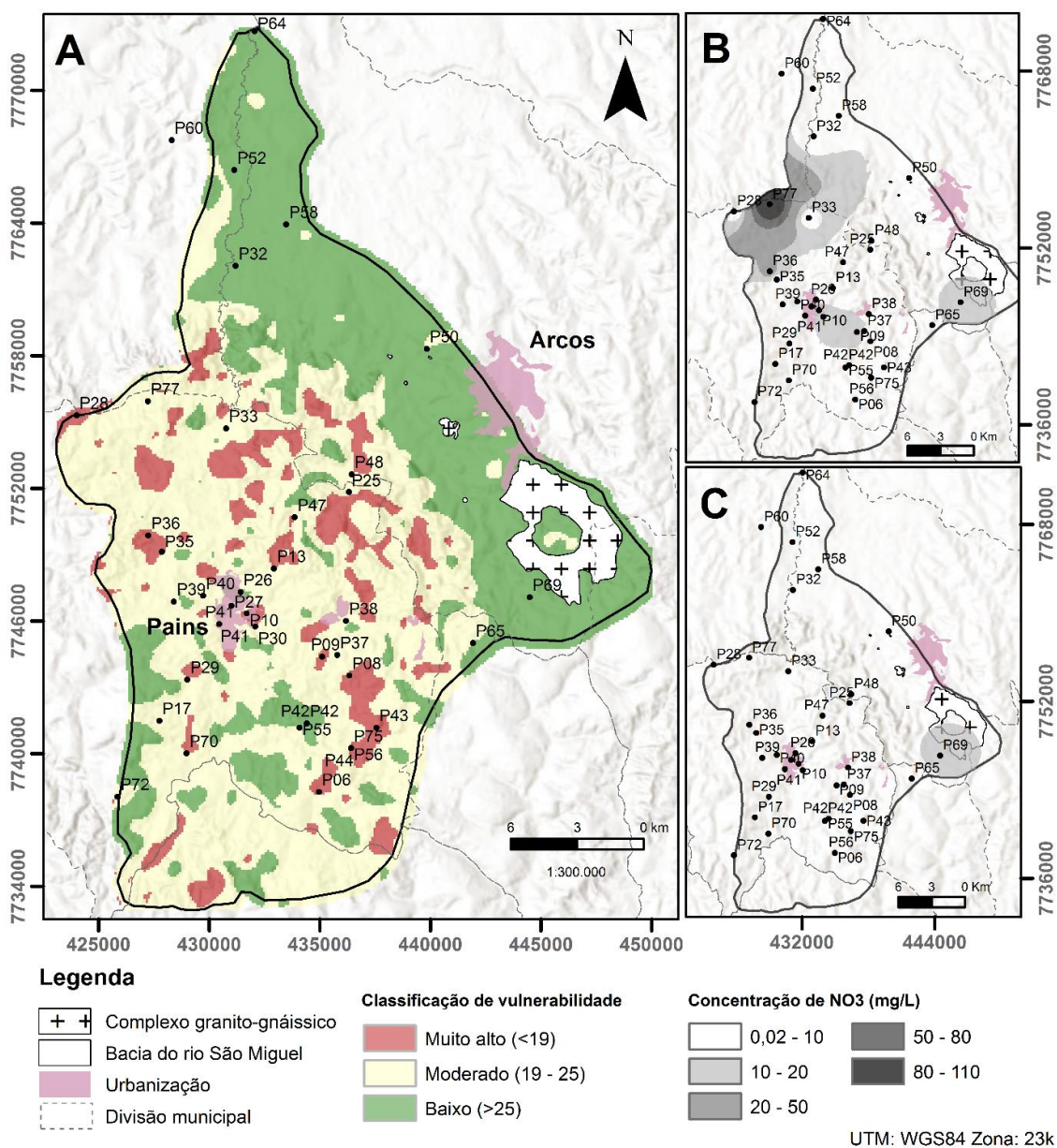
Fig. 1 - Fluxograma demonstrando o procedimento seguido na metodologia para geração do mapa de vulnerabilidade à contaminação do aquífero da bacia do rio São Miguel.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Existe uma variação regional da concentração anômala do nitrato entre os períodos sazonais. No período de seca, a área de concentração do nitrato abrange o extremo oeste da bacia, com coletas retiradas de um poço artesiano, com concentrações de 16,4 a 10,4 mg/L. Porém, essa região predomina a zona de vulnerabilidade baixa e é próxima ao embasamento, ou seja, não demonstra relação com a delimitação de classes de vulnerabilidade da área. O mapa de período de chuva apresenta zonas de concentração acima de 10 mg/L de  $\text{NO}_3^-$  distribuídas pela bacia. A área localizada no extremo leste da bacia apresenta os maiores teores de  $\text{NO}_3^-$ , variando entre as duas chuvas de 25,6 e 130,3 mg/L, com coleta feita em um poço artesiano (Fig. 2). A coleta realizada na gruta do Carneiro apresenta concentrações de 30 e 4 mg/L, participando na

delimitação da zona de contaminação. Também foi realizada uma coleta no poço artesiano do SAAE (Sistema Autônomo de Água e Esgoto), um dos pontos utilizados no abastecimento de água para a cidade Pains, com valores de 2,9 a 4,9 mg/L, que são abaixo dos valores permitidos pela Resolução do CONAMA nº 396 (2008), sendo uma área pertencente a classe de alta vulnerabilidade. Porém, os outros dois pontos que delimitam uma área de alta concentração de nitrato estão localizados em uma região com variação de classes moderada a alta, em uma zona com grande concentração de feições cársticas, como lápias, dolinas, sumidouros e cavernas e meio a declividade de 10 a 20%, formando zonas de infiltrações pontuais. A área central com concentrações de nitrato variando de 10 a 20 mg/L também se encontra relacionado a uma região de classe moderada.

Na área da bacia do rio São Miguel, 67,7% da área é ocupada por pasto, solo exposto e pastagem. Haddad (2007) relata que elevados teores estão relacionados à precariedade do saneamento básico e à disposição de resíduos sólidos de maneira inadequada. Práticas agrícolas também são consideradas potencialmente poluidoras devido às formas mecanizadas de manejo do solo, à aplicação intensiva e prolongada, em extensas áreas, de fertilizantes inorgânicos, assim como ao uso de agrotóxicos. Soma-se a isto a irrigação excessiva do solo, que contribui com o arraste e infiltração de nutrientes (especialmente nitratos), sais e traços de compostos orgânicos (Silva 2003).



**Fig. 2** - (A) Vulnerabilidade à contaminação cárstica via metodologia EPIK; (B) valores de concentração de  $\text{NO}_3^-$  (mg/L) do período de chuva; e (C) concentração de  $\text{NO}_3^-$  (mg/L) do período de seca.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos poderão ser utilizados para fins de planejamento urbano e gestão territorial e hídrica dos municípios envolvidos, além de possibilitar a aplicação da metodologia EPIK, em outras áreas com condições geológicas e hidrogeológicas similares

Embora alguns autores sustentem que a validação não tem lugar na modelagem hidrológica, outros apoiam sua verificação e até sua validação por técnicas estatísticas. O EPIK não é um modelo preditivo; seu objetivo é representar a possibilidade de poluição de aquíferos por fontes superficiais. A COST 620 indica a utilização de mais de um método de validação em mapas de vulnerabilidade, considerando-se esse estudo como uma validação preliminar verificada com dados químicos. Os resultados hidroquímicos de  $\text{NO}_3^-$  anômalos da água subterrânea corresponderam às áreas mais vulneráveis, logo, o mapeamento de vulnerabilidade foi validado.

## AGRADECIMENTOS

Ao laboratório LGqA-DEGEO (UFOP) e à SEE pelo apoio técnico-científico. Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ) pelo apoio e financiamento técnico científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Auge, M. Vulnerabilidad de acuíferos: conceptos y metodos. 2004. Buenos Aires: Universidade de Buenos Aires. Disponível em: < <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html> >.
- Alkmim, F. F., and M. A. Martins-Neto. "A bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos." *Bacia do São Francisco: geologia e recursos naturais*, 2001, p. 9-30.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396 (2008) Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 Abr. 2008. Seção Resoluções
- CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Piumhi- SF.23-V-B-II, escala 1:100.000: nota explicativa. /André Ribeiro, Fábio Vito Pentagna Paciullo, Aracy Souza Senra, Cláudio de Morrison Valeriano, Rudolph Allard Jonhhanes Trouw - Minas Gerais: UFRJ/CPRM, 2008.
- Daly, D., A. Dassargues, D. Drew, S. Dunne, N. Goldschneider, N. Neale, I. C. Popescu, and F. Zwahlen. 2001. "Main concepts of the European approach for karst groundwater resource assessment and mapping." *IAH Hydrogeology Journal* 10: 340-345.
- Doerfliger, N., Zwahlen, F. *Groundwater Vulnerability Mapping in Karstic Regions (EPIK), Practical Guide*. Swiss Agency for the Environment. Forests and Landscape (SAEFL). Berne, 1998.
- Goldscheider, N. H.; Hotzl, W.; Fries et al. Validation of vulnerability map (EPIK) with tracer tests. *Sciences et techniques de l'environnement. Mémoire Hors-série*, 2001. P. 167-170
- Goldscheider N., Drew D. *Methods in karst hydrology*. Taylor & Francis Group, London, U.K., 2007.
- Haddad E.A. 2007. Influência antrópica na qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio São Miguel, Carste do Alto São Francisco, Minas Gerais. 2007. 156 p. Dissertação (Mestrado em Análise Ambiental) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.
- Holman IP, Palmer RC, Bellamy PH, Hollis JM (2005) Validation of an intrinsic groundwater pollution vulnerability methodology using a national nitrate database. *Hydrogeol J* 13(5–6):665–674
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta Topográfica da Folha Piumhi (SF.23-V-D-II) escala 1:50.000: IBGE 1970. Belo Horizonte: IBGE, 1970.
- Lasserre, E., Razack, M., Banton, O. (1999): A GIS-linked model for the assessment of nitrate contamination in groundwater. *J. Hydrology* 224: 81–90.
- Lucon, T. N. (2018) Utilização de dados hidroquímicos para ajudar a delimitar áreas de influência de cavidades do alto São Francisco, MG. In *Ciclo de Palestras Área de influência de cavernas*. Cine Teatro Brasil Vallourec - Belo Horizonte.
- Magiera, P. *Methoden zur Abschätzung der Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers*. – Grundwasser, 2000.
- Martins, T. I. S. Mapeamento Geomofológico da Folha Piumhi, Minas Gerais. 2013. 157f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geografia, Uberlândia.
- Ribeiro, A.; Paciullo, F. V. P.; Senra, A. S.; Valeriano, C. M.; Trouw, R. A. J. *Geologia da Folha Piumhi SF.23-V-B-II*. Minas Gerais: UFRJ/CPRM, 2008.
- Silva, R. B. G. da. *Águas subterrâneas: um valioso recurso que requer proteção*. São Paulo: DAEE, 2003. 28p.