

# COMPORTAMENTO DO FLUXO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA E POTENCIALIDADE HÍDRICA EM AQUIFERO CÁRSTICO A PARTIR DE ANÁLISE ESTRUTURAL E PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS – SETE LAGOAS (MG)

Rafael Gomes <sup>1</sup>, Paulo Galvão <sup>2</sup>, Ana Maciel<sup>3</sup>, Aline da Silva<sup>4</sup>

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

<sup>4</sup> Serviço Autônomo de Água e Esgoto. Sete Lagoas (MG). [sup.ambiental@hotmail.com](mailto:sup.ambiental@hotmail.com)

**Palavras-Chave:** Métodos investigativos; Fluxo Subterrâneo; Aquífero cárstico

## INTRODUÇÃO

O aquífero cárstico é um dos sistemas mais complexo para entender o comportamento de fluxo de água subterrânea, por isso necessita de estudos específicos a fim de subsidiar a gestão de recursos hídricos, principalmente, em regiões dependentes desse recurso. Como esse aquífero se desenvolve a partir da dissolução de rochas solúveis, principalmente, em falhas/fraturas, planos de acamamento ou foliação, é essencial o entendimento do contexto geotectônico, a partir da realização de mapeamento geológico-estrutural, além da caracterização hidrogeológica da região (Ford e Williams 2007).

Nesse sentido, é comum associar propriedades/parâmetros hidráulicos e padrões estruturais, na tentativa de compreender melhor o fluxo de água subterrânea e identificar regiões com maior potencialidade hídrica e susceptibilidade à contaminação (Rocha et al. 2015, Abreu et al. 2016, Gonçalves et al. 2018).

O município de Sete Lagoas (MG) vem enfrentando problemas quanto à gestão de recursos hídricos, principalmente em período de estiagem, sendo necessária a locação de novos poços em zonas de maior potencialidade hídrica. A área de estudo está inserida em uma região de bacia plataformal, cujas camadas mergulham, em geral, para NE, assim como o fluxo de água subterrânea regional. As litologias principais são o embasamento gnáissico-migmatítico do Complexo Belo Horizonte, os calcários da Formação Sete Lagoas, metapelitos da Formação Serra de Santa Helena e sedimentos inconsolidados cenozoicos (Fig. 1) (Galvão 2015).

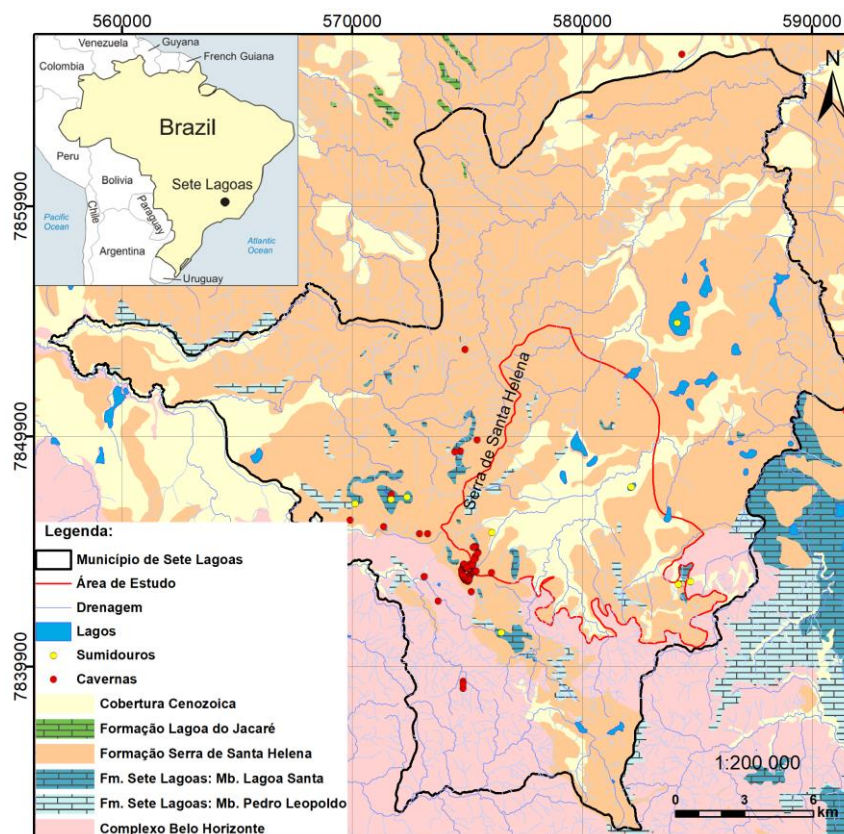


Fig. 1 - Mapa geológico e localização do município de Sete Lagoas/MG, incluindo a área de estudo em vermelho (modificado de Galvão 2015).

A área está localizada no extremo sudeste do Cráton São Francisco, cujas principais estruturas tectônicas são falhas de empurrão sub-horizontais e zonas de cisalhamento interestratais com orientação N-S, antiformes e sinformes de eixo E-W e falhas de rejeito normal (Tuller et al. 2010). Hidrogeologicamente, a região é classificada como aquífero cárstico-fissural semiconfinado, cuja água flui, principalmente, em condutos e fraturas. O centro da área, onde os sedimentos inconsolidados são mais espessos (~40 m), e em contato com o calcário, é a região mais carstificada e com maior concentração de poços tubulares para captação de água (Pessoa 1996; Galvão 2015).

Este estudo associa propriedades hidrogeológicas e padrões estruturais com o objetivo de entender melhor o comportamento do fluxo de água subterrânea em aquíferos cársticos e identificar zonas com maiores potencialidades hídricas, contribuindo para uma melhor gestão de recursos hídricos, principalmente, nas cidades inteiramente dependentes desse recurso.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A associação de dados hidrogeológicos com dados estruturais considerou:

1) transmissividade ( $T$ ) do Aquífero Cárstico Sete Lagoas, obtida por Galvão (2015), via testes de bombeamento de longa duração em poços públicos do SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto);

2) vazões específicas ( $Q/s$ ) de testes de produção, interpretados a partir de dados de perfis construtivos de poços do SAAE e de poços privados, obtidos nas plataformas SIAM (Sistema Integrado de Informação Ambiental) e SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas). Foram filtrados os dados mais confiáveis, observando a data de realização dos testes, volume de dados, distribuição espacial e vazão de bombeamento atual (maio de 2018) de poços públicos, obtida pelo SAAE com medidor ultrassônico;

3) níveis dinâmicos dos poços ( $NDs$ ) para a confecção de superfícies potenciométricas, apurados em duas campanhas de medição: na época de estiagem (setembro/2017) e na chuvosa (março/2018);

4) lineamentos, traçados via análise de imagens do *Google Earth* e mapa de relevo sombreado, com iluminação utilizando azimute 265, altitude 60 e exagero vertical de 5x, do raster de elevação *Alos Palsar*, com resolução de 15m.

Assim, foram obtidos 34 dados de  $T$ , 188 de  $Q/s$  e 187 lineamentos. O *software ArcGis* 10.3 foi utilizado para o georreferenciamento dos dados e confecção dos mapas das Fig. 2 e Fig. 3. Foi elaborado um mapa de densidade de lineamentos, utilizando a ferramenta *Line Density* do *ArcToolbox*, considerando os lineamentos em um raio de 700 m para cada *pixel* do mapa, o qual foi utilizado para sobreposição de dados de  $T$ ,  $Q/s$  e vazão de bombeamento. As coordenadas iniciais e finais de cada lineamento foram identificadas e organizadas em uma tabela, utilizando o *software RockWorks* 16, para encontrar os comprimentos e azimutes de cada lineamento, possibilitando serem feitas análises estatísticas, representadas em tabelas, histogramas e rosetas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fluxo de água subterrânea regional flui para NE, apesar de existir um importante cone de rebaixamento no centro da cidade, devido à grande concentração de poços de bombeamento, desviando o sentido original de fluxo (equipotenciais laranja, Fig. 2a). Na região NW, perto da Serra de Santa Helena, os poços captam água do embasamento, por isso foi feita uma outra superfície potenciométrica (equipotenciais verdes, Fig. 2a), correspondendo a outro aquífero. Há uma grande diferença nos  $NDs$  dos poços no limite dos aquíferos e da profundidade do embasamento em curtas distâncias laterais, com preenchimento por depósito de *tálus* e colúvio, indicando, possivelmente, uma falha geológica, *graben* ou “baixo estrutural”.

A maior espessura dos sedimentos inconsolidados na região central, além de não haver uma rocha selante nessa área, contribui para intensificar a carstificação do calcário na região, proporcionando maior armazenamento de água. Nota-se a presença de lagoas naturais com formas geométricas alongadas, por representarem, possivelmente, antigas dolinas que foram preenchidas por água, servindo como indicadores de uma região carstificada (presença de condutos subterrâneos) e da direção de fluxo d’água, já que as dolinas são formadas a partir do colapso do teto desses condutos. Algumas das lagoas seguem a direção principal dos lineamentos (Fig. 3). Ademais, Galvão et al. (2017) mostrou, via estudos isotópicos e hidroquímicos, que há conexão hidráulica entre algumas lagoas e o aquífero, através de sumidouros.

A Fig. 2b mostra a diferença do nível dinâmico dos poços entre a época de estiagem e chuvosa. Se considerado o mesmo regime de bombeamento, a região sudoeste foi onde houve maior recuperação do  $ND$ , que é justamente onde há a maior concentração de cavernas e minas superficiais, além de lineamentos, possivelmente contribuindo para maior recarga pontual, autogênica e direta e, portanto, com alta

susceptibilidade à contaminação. Na região central, há uma diferença na recuperação dos NDs de 3 m, perto da Lagoa Paulino, e sem recuperação, perto da Lagoa Boa Vista, possivelmente devido à captação de água em condutos com profundidades diferentes ou porque os condutos dessas regiões possuem conexões distintas, possibilitando taxas de recarga diferentes. Na região noroeste, mesmo na época chuvosa, houve diminuição dos NDs dos poços que captam água do aquífero fissural (embasamento), possivelmente devido à superexploração de água ou mudança no regime de bombeamento.

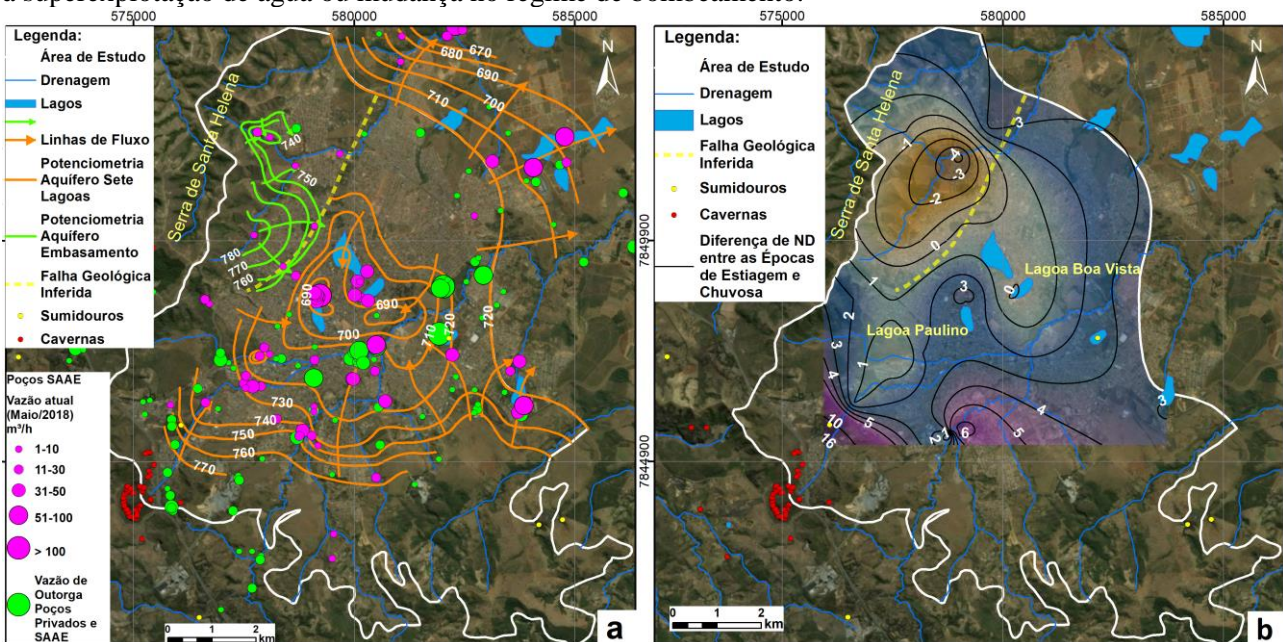


Fig. 2 – a) Superfícies potenciométricas do Aquífero Sete Lagoas e Embasamento da época de estiagem; b) diferença dos níveis dinâmicos dos poços entre as épocas de estiagem e chuvosa.

As Fig. 3 e Fig. 4 mostram que os lineamentos predominam em uma direção entre norte e leste (vetor médio N61E), que são as direções médias longitudinais das lagoas, dos planos de acamamento dos calcários (N60E, Galvão 2015), do caimento da bacia plataformal e da direção do fluxo de água subterrânea regional. Nota-se, também, a concentração de poços com maiores  $T$ ,  $Q/s$  e vazão de bombeamento em regiões próximas aos lineamentos (0 a 250 m), inclusive seguindo a direção N61E, ou próximos às lagoas. Como as carstificações, na região, se desenvolvem, principalmente, nos planos de acamamento, falhas e fraturas (Galvão 2015), é de se esperar que os condutos se localizem próximos à região mais densa de lineamentos que interceptam planos de acamamento e, conseqüentemente, resultando em maior potencialidade hídrica.

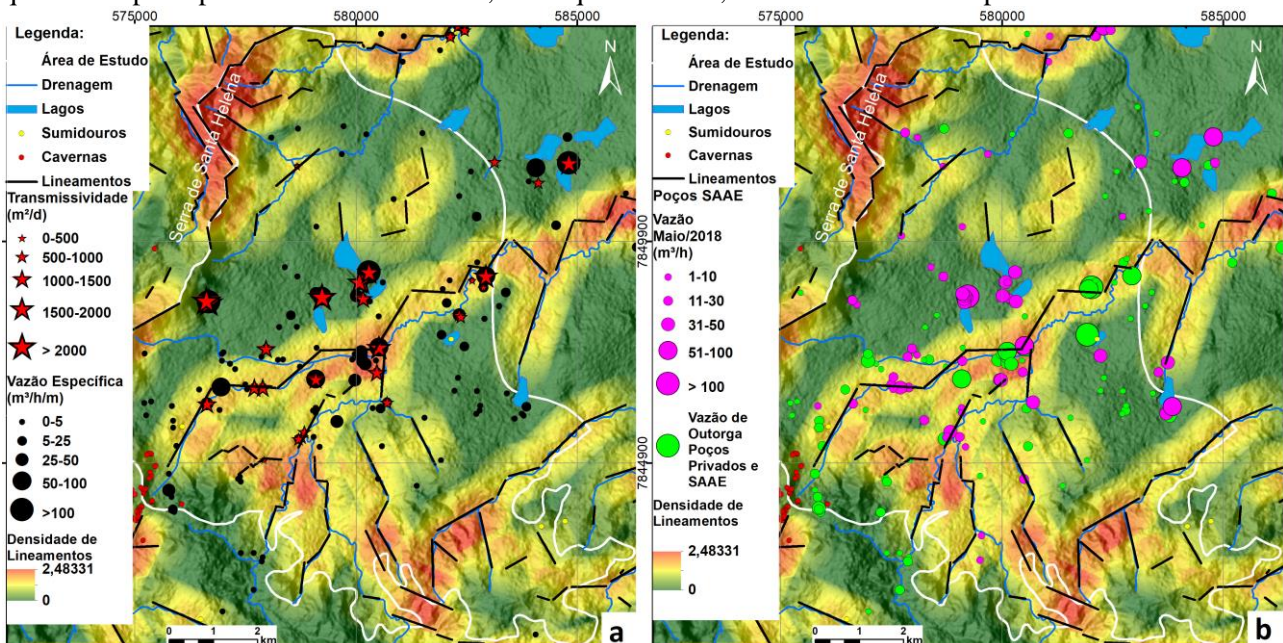


Fig. 3 – a) Mapa de densidade de lineamentos com sobreposição de dados de  $T$ ,  $Q/s$ ; b) sobreposição de dados de vazão de bombeamento medida e vazão outorgada.

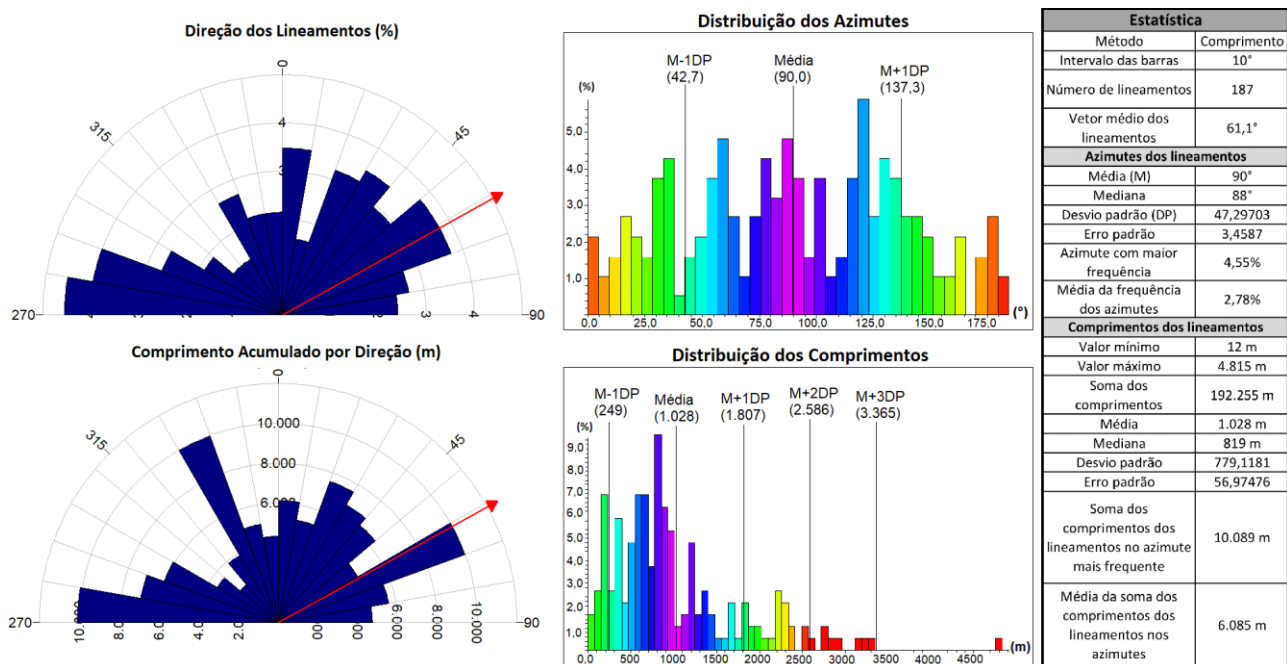


Fig. 4 – Análises estatísticas, rosetas e histogramas das direções e comprimentos dos lineamentos da área de estudo e vetor médio, analisados no software *RockWorks 16*.

## CONCLUSÃO

Apesar do desvio do fluxo na região central, devido à concentração de poços de bombeamento, formando um grande cone de rebaixamento, o fluxo de água subterrânea flui para NE através de condutos e fraturas. As regiões próximas (0-250 m) aos lineamentos ou às lagoas naturais são as regiões com maiores valores de  $T$  e  $Q/s$ , implicando em maior potencialidade hídrica e, conseqüentemente, nas melhores regiões para perfuração de poços para captação de água. A associação de dados hidrogeológicos e estruturais é extremamente importante para o entendimento do comportamento do fluxo de água subterrânea em aquíferos cársticos, servindo como boa ferramenta na gestão de recursos hídricos.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da UFOP, à CAPES e ao SAAE de Sete Lagoas, pelo apoio na realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, M.; Conicelli, B.; Peñaranda, J. Avaliação da Produtividade dos Poços Tubulares na Sub-bacia do Juqueri-Cantareira/SP. Anais, XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Disponível em: [www.abas.org/xixcabas/anais\\_poster.php](http://www.abas.org/xixcabas/anais_poster.php). 2016.
- Ford, D.C; Williams, P.W. 2007. Karst geomorphology and hydrology, 2nd ed. Wiley, Chichester, NY, 562p.
- Galvão, P. H. F. 2015. Modelo Hidrogeológico Conceitual de Sete Lagoas (MG) e Implicações Associadas ao Desenvolvimento Urbano em Regiões Cársticas. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 124p.
- Galvão, P.; Halihan, T.; Hirata, R.; Terada, R. 2017. Recharge sources and hydrochemical evolution of an urban karst aquifer, Sete Lagoas, MG, Brazil. *Environ Earth Sci* (2017) 76:159, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Gonçalves, T.; Leal, L. Potencialidades hídricas no Aquífero Cárstico Salitre na região de Irecê, Bahia. *Revista de Águas Subterrâneas*, vol. 32, n. 2, p. 191-199, 2018.
- Pessoa, P. 1996. Caracterização Hidrogeológica da Região de Sete Lagoas - MG: Potenciais e Riscos. Tese de Mestrado. Departamento de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 205p.
- Rocha, M.; Abreu, M.; Oliveira, N.; Vasconcelos, T.; Sousa, C.; Gustavo, A.; Neto, J. Avaliação da Produtividade dos Aquíferos em Goiânia e Aparecida de Goiânia, Estado de Goiás. Anais XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Disponível em: [www.evolvedoc.com.br/sbrh/busca](http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/busca). 2015.
- Tuller, M.P, Ribeiro J.H, Signorelli, N, Féboli W.L, Pinho J.M.M. 2010. Projeto Sete Lagoas - Abaeté, estado de Minas Gerais, Brasil. 6 mapas geológicos, escala 1:100.000 (Programa Geologia do Brasil), 160p.