

## ANÁLISE DOS PARÂMETROS HIDRÁULICOS DOS AQUÍFEROS DA SUB-BACIA DO RIBEIRÃO TRAÍRAS, NORTE DE MINAS GERAIS

*Macêdo, VG<sup>1</sup>; Gonçalves, AMN<sup>2</sup>; Santos, LP<sup>3</sup>; Quintão, RFM<sup>4</sup>; Lima, YA<sup>5</sup>; De Paula, RS<sup>6</sup>.*

### ABSTRACT

This study characterizes the aquifers of the Traíras stream sub-basin, located within the São Lamberto River watershed in northern Minas Gerais, Brazil. The area covers 465.26 km<sup>2</sup> and includes the municipalities of Montes Claros and Claro dos Poções. It is part of the physiographic region of the São Francisco River Basin, specifically within the Jequitaí and Pacuí rivers sub-basin (SF6). Based on data from drilled wells obtained through the Integrated Environmental Information System (SIAM), the study aims to evaluate the hydrogeological parameters of the Sete Lagoas Formation aquifers. The aquifer system comprises the karst-fractured aquifer of the Sete Lagoas Formation, the aquitard of the Serra de Santa Helena Formation, and the overlying unconsolidated aquifer. The karst-fractured aquifer develops within metacarbonate rocks of the Lagoa Santa and Pedro Leopoldo members and is predominantly unconfined, though locally confined by metapelites of the Serra de Santa Helena Formation. Spatial data analysis was conducted using QGIS, and hydrogeological data were analyzed with AquiferTest software, applying theoretical models such as Theis, Theis with Jacob, and Neuman. The pumping tests revealed high variability in transmissivity (T) values, reflecting the heterogeneity and anisotropy of the aquifer system, which behaves as karst-fractured at depth and predominantly karst in shallow zones. Storage coefficient (S) values also varied widely, indicating a mostly unconfined system. Recovery tests using the Papadopoulos & Cooper method yielded higher T values, while S values were consistent across methods. The results demonstrate a complex and heterogeneous aquifer system and effectively associate hydrogeological parameters with distinct hydrostratigraphic units within the São Lamberto River Basin.

**Key-words:** Storage Coefficient; Hydraulic Conductivity; Transmissivity.

<sup>1</sup>) Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMTC-IGC, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Belo Horizonte (MG), 31270-901, Brasil. Telefone: (33) 98454-1389 Email: [vitoragomesmacedo3@gmail.com](mailto:vitoragomesmacedo3@gmail.com)

<sup>2</sup>) Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMTC-IGC, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Belo Horizonte (MG), 31270-901, Brasil. Telefone: (32) 99912-8406 Email: [anamarianascgs@gmail.com](mailto:anamarianascgs@gmail.com)

<sup>3</sup>) Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMTC-IGC, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Belo Horizonte (MG), 31270-901, Brasil. Telefone: (31) 99686-2805 Email: [letterpds@gmail.com](mailto:letterpds@gmail.com)

<sup>4</sup>) Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMTC-IGC, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Belo Horizonte (MG), 31270-901, Brasil. Telefone: (31) 99944-2982 Email: [rafafmquintao@gmail.com](mailto:rafafmquintao@gmail.com)

<sup>5</sup>) Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMTC-IGC, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Belo Horizonte (MG), 31270-901, Brasil. Telefone: (31) 98268-9573 Email: [yasminnandrad@gmail.com](mailto:yasminnandrad@gmail.com)

<sup>6</sup>) Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMTC-IGC, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Belo Horizonte (MG), 31270-901, Brasil. Telefone: (31) 99116-7905 Email: [deaula.ufmg@gmail.com](mailto:deaula.ufmg@gmail.com)

## RESUMO

Este estudo caracteriza os aquíferos da sub-bacia do ribeirão Traíras, localizada na bacia hidrográfica do rio São Lambert, no norte de Minas Gerais, com 465,26 km<sup>2</sup>, abrangendo Montes Claros e Claro dos Poções. Inserida na sub-bacia dos rios Jequitaí e Pacuí (SF6), a área tem como foco os aquíferos da Formação Sete Lagoas. Utilizando dados de poços tubulares do Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM), o objetivo é avaliar os parâmetros hidrodinâmicos desses aquíferos. O sistema aquífero local é composto pelo aquífero cárstico-fissural da Formação Sete Lagoas, o aquitardo da Formação Serra de Santa Helena e o aquífero de cobertura. O primeiro desenvolve-se nas metacalcárias dos membros Lagoa Santa e Pedro Leopoldo, sendo predominantemente livre, mas localmente confinado pelos metapelitos da Formação Serra de Santa Helena. Foram utilizados o QGIS para análise espacial e o AquiferTest para ajuste dos dados a modelos como Theis, Theis com Jacob e Neuman. Os ensaios revelaram elevada variabilidade nos valores de transmissividade (T), refletindo a heterogeneidade e anisotropia do aquífero, com comportamento cárstico-fissural em profundidade e cárstico nas zonas rasas. Os valores de armazenamento (S) foram igualmente dispersos, indicando um sistema predominantemente livre. Testes de recuperação com o método de Papadopoulos & Cooper mostraram transmissividades mais elevadas, com S semelhante aos demais métodos. Os resultados associam os parâmetros hidrogeológicos às diferentes unidades presentes, evidenciando a complexidade e heterogeneidade do sistema aquífero da bacia do rio São Lambert.

**Palavras-chave:** Coeficiente de Armazenamento; Condutividade hidráulica; Transmissividade

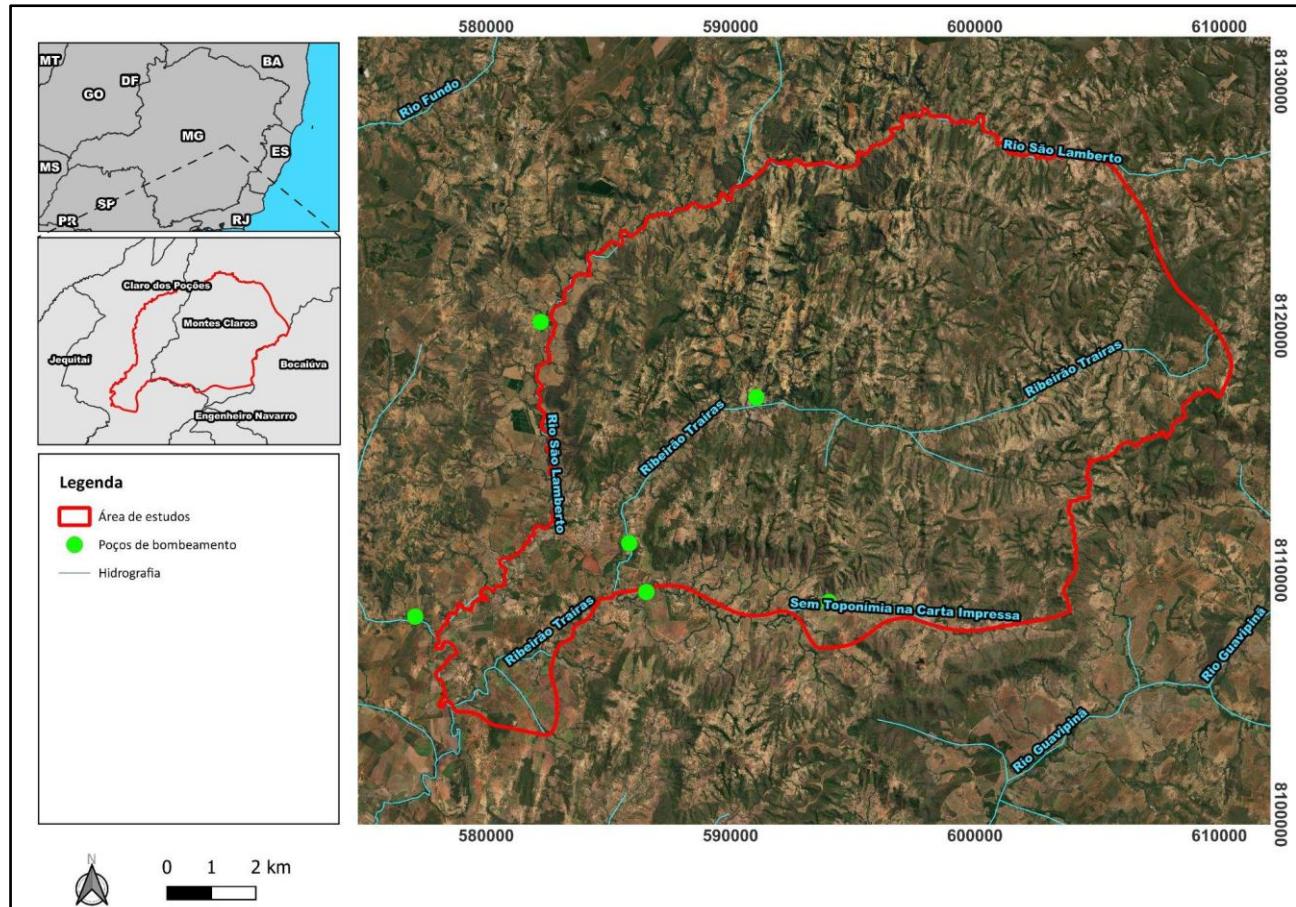
## INTRODUÇÃO

A área de estudo corresponde à sub-bacia do ribeirão Traíras que se encontra dentro da bacia hidrográfica do rio São Lambert, localizada no norte de Minas Gerais, com uma área total de 465,26 km<sup>2</sup>, abrangendo os municípios de Montes Claros e Claro dos Poções (Figura 1). O rio São Lambert possui aproximadamente 102,5 km de extensão e é um importante afluente do rio Jequitaí, que, por sua vez, integra a bacia hidrográfica do rio São Francisco. A área está inserida na região fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, mais especificamente na sub-bacia dos rios Jequitaí e Pacuí (SF6).

Com base nos dados obtidos de poços de tubulares, este trabalho tem como objetivo avaliar os parâmetros hidrodinâmicos de aquíferos da formação Sete Lagoas na região da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Traíras.

A hidrografia regional da área de estudo é composta principalmente pela bacia do rio São Lambert e a sub-bacia do ribeirão Traíras, que apresenta uma rede de pequenos cursos d'água. Destacam-se, entre eles, o córrego Mocambo, córrego Chapadinha, córrego Veredas, córrego das Pedras, ribeirão Traíras e o rio Tigre, que contribuem diretamente para a manutenção da vazão do rio São Lambert. Este, por sua vez, é afluente do rio Jequitaí, que drena para o rio São Francisco pela margem direita. O principal afluente da bacia do rio São Lambert é o ribeirão Traíras, cuja contribuição é relevante para o balanço hídrico da sub-bacia, conforme evidenciado por Durães et al.

(2017). A região apresenta clima tropical com estação seca no inverno (Aw), segundo a classificação de Köppen, caracterizado por uma precipitação média anual de aproximadamente 1.000 mm e temperatura média anual de 23°C.



**Figura 1** – Mapa com localização da área de estudo e geológico com os poços de bombeamento.

Do ponto de vista geológico, a área de estudo está inserida na Bacia do São Francisco, considerada, segundo Chang et al. (1988) apud Alkmim & Martins-Neto (2001), como a porção sul do Cráton do São Francisco. O substrato geológico é representado pelo embasamento granito-gnáissico Belo Horizonte, que se encontra abaixo das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (Ribeiro et al., 2003). De acordo com Alkmim e Martins Neto (2001) e Martins Neto e Alkmim (2001), a Megassequência Bambuí, que engloba o Grupo Bambuí, o Grupo Vazante e unidades correlatas, constitui a principal cobertura do Cráton São Francisco. O Grupo Bambuí é a unidade mais expressiva da bacia, composta por um espesso pacote de rochas carbonáticas intercaladas com depósitos terrígenos, organizado, da base para o topo, nas seguintes formações: Carrancas, composta por ruditos, conglomerados e diamictitos delgados; Sete Lagoas, formada por margas, calcilutitos, calcarenitos, biolutitos e calcissiltitos cinza-escuros, típicos de ambientes de águas rasas com presença de estromatólitos; Serra de Santa Helena, caracterizada por pelitos, folhelhos e ardósias, que, nas porções superiores, mostram um aumento na influência de ondas de tempestade, evidenciado pela presença de siltitos e lentes silto-arenosas; Lagoa do Jacaré, composta por calcarenitos oolíticos

e oncolíticos associados a pelitos; Serra da Saudade, dominada essencialmente por pelitos; e, por fim, a formação Três Marias, composta por arcóseos, arenitos e conglomerados, indicativos de ambientes de sedimentação que variam de marinho raso a fluvial.

O sistema aquífero da região é composto pelas unidades hidrogeológicas aquífero cárstico-fissural da Formação Sete Lagoas, aquitardo da formação Serra de Santa Helena e aquífero de cobertura. O aquífero cárstico-fissural da Formação Sete Lagoas desenvolve-se nas rochas metacalcárias dos membros Lagoa Santa e Pedro Leopoldo, o aquífero se encontra predominantemente livre sendo localmente confinado pelos metapelitos da Formação Serra de Santa Helena.

Além dessas unidades, verifica-se a presença de um aquífero fissural desenvolvido no embasamento granito-gnáissico, sobreposto pelo sistema aquífero carbonático, que apresenta características cárstico-fissurais nas porções mais profundas e predominantemente cársticas nas zonas mais rasas. A espessura média desse aquífero é de aproximadamente 200 metros, podendo variar localmente. Esse sistema é, em diversos pontos, recoberto por um aquitardo metapelítico e por coberturas inconsolidadas, cuja espessura média não ultrapassa 50 metros, atuando principalmente como zonas de recarga para o sistema aquífero carbonático principal (De Paula, 2019). Ressalta-se, ainda, que o manto de intemperismo pode atingir profundidades de até 60 metros, com média em torno de 30 metros, sendo que as principais entradas de água normalmente se localizam cerca de 30 metros abaixo do topo desse manto de alteração (Dantas et al., 2023).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos por meio da plataforma Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM) dentro Secretaria de Estado e Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), foram usados testes de aquífero e dos perfis construtivos dos poços analisados. Para a caracterização geológica e a definição das unidades hidrogeológicas da área, foi utilizada a folha geológica da Bacia do São Francisco, elaborada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O processamento dos dados espaciais foi realizado no software QGIS.

A análise dos dados hidrogeológicos foi conduzida com o auxílio do software *AquiferTest*, que permite ajustar os dados de campo a diferentes modelos teóricos, como Theis, Theis com Jacob e Neuman. Por meio da interpretação dos testes de aquífero e dos ensaios de injeção, foram estimados os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, como condutividade hidráulica ( $K$ ), transmissividade ( $T$ ) e coeficiente de armazenamento ( $S$ ).

## RESULTADOS

Os ensaios hidrodinâmicos realizados na área permitiram estimar os parâmetros do aquífero, conforme Tabela 1. Os valores de transmissividade ( $T$ ) obtidos pelos métodos de Theis e Neuman apresentaram elevada variabilidade, variando de  $1,74 \times 10^{-7}$  a  $5,31 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Essa ampla faixa reflete a heterogeneidade e anisotropia do aquífero, composto por um embasamento fissural (granitognaiss) e por um sistema carbonático, que se comporta de forma cárstico-fissural nas porções profundas e predominantemente cárstica nas zonas mais rasas, de acordo com modelos de desenvolvimento do carte conforme proposto por De Paula 2019 em áreas similares.

Os valores de armazenamento (S) apresentaram dispersão, variando entre  $1,93 \times 10^{-3}$  e  $9,90 \times 10^{-1}$ , mostrando valores elevados de armazenamento e grande um sistema predominantemente livre. Esse comportamento mostra que apesar de grande parte o sistema cárstico se encontra recoberto pelos metapelítico da Formação Santa Helena, o sistema carbonático apresenta majoritariamente livre na região.

Nos testes de recuperação, usando o método de Papadopoulos & Cooper, os valores de transmissividade foram mais elevados em comparação aos outros métodos, já os valores de armazenamento se mantiveram igual aos observados nos outros métodos. Os resultados reforçam a interpretação do sistema cárstico-fissural recobertos por aquitardos descontínuos.

**Tabela 1** – Parâmetros hidrodinâmicos dos poços de bombeamentos.

Poços	Testes de Aquífero				Teste de Recuperação	
	Theis		Neuman		Papadopoulos & Cooper	
	T( $m^2/s$ )	S	T( $m^2/s$ )	SY	T( $m^2/s$ )	S
P1	$1,91 \times 10^{-7}$	$9,90 \times 10^{-1}$	$2,49 \times 10^{-1}$	$9,90 \times 10^{-1}$	$9,90 \times 10^{-1}$	$9,63 \times 10^{-3}$
P2	$1,74 \times 10^{-7}$	$1,93 \times 10^{-3}$	$1,74 \times 10^{-7}$	$2,49 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$9,90 \times 10^{-1}$
P3	$2,08 \times 10^{-3}$	$2,41 \times 10^{-1}$	$2,26 \times 10^{-3}$	$9,90 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-4}$
P4	$4,22 \times 10^{-5}$	$9,90 \times 10^{-1}$	$5,31 \times 10^{-3}$	$9,90 \times 10^{-1}$	$2,41 \times 10^{-4}$	$9,63 \times 10^{-3}$
P5	$1,09 \times 10^{-3}$	$2,50 \times 10^{-1}$	$1,21 \times 10^{-3}$	$9,90 \times 10^{-1}$	$2,41 \times 10^{-2}$	$9,63 \times 10^{-3}$

## CONCLUSÕES

Por fim, os resultados obtidos nos ensaios hidrodinâmicos permitem associar, de forma consistente, os parâmetros hidrogeológicos às diferentes unidades hidrogeológicas presentes na bacia do rio São Lambert, evidenciando um sistema aquífero complexo e altamente heterogêneo. Este sistema é composto por um aquífero fissural desenvolvido no embasamento granito-gnaisse, sobreposto por um aquífero carbonático, que apresenta comportamento cárstico-fissural nas porções mais profundas e predominantemente cárstico nas zonas mais rasas, com espessura média em torno de 200 metros. Este sistema é parcialmente recoberto por um aquitardo metapelítico e por depósitos de cobertura pouco espessos, com espessura média de até 50 metros, que atuam como importantes zonas de recarga difusa.

Do ponto de vista hidrográfico, a área de estudo está inserida na sub-bacia do rio São Lambert, cuja drenagem é formada por uma rede densa de pequenos cursos d'água, como os rios Traíras e Tigre, que alimentam diretamente o São Lambert — este, por sua vez, afluente do rio Jequitaí e, consequentemente, do rio São Francisco. A dinâmica hídrica regional está fortemente condicionada aos processos de recarga, favorecidos pelas feições cársticas, e aos mecanismos de escoamento tanto superficial quanto subterrâneo.

Os resultados dos ensaios hidrodinâmicos refletem essa elevada complexidade, evidenciada pela grande variabilidade dos valores de transmissividade (T) e armazenamento (S). Nos testes de recuperação, usando o método de Papadopoulos & Cooper, os valores de transmissividade foram mais elevados em comparação aos outros métodos, já os valores de armazenamento se mantiveram igual

aos observados nos outros métodos. Os resultados reforçam a interpretação do sistema cárstico-fissural recobertos por aquitardos descontínuos. Por outro lado, os testes de bombeamento capturam a influência de estruturas de maior continuidade hidráulica, como fraturas abertas e condutos cársticos. Esse comportamento também está diretamente relacionado à profundidade dos poços: poços mais rasos tendem a refletir as características do aquitardo da Formação Serra de Santa Helena, enquanto poços mais profundos acessam diretamente o aquífero carbonático da Formação Sete Lagoas, apresentando parâmetros hidráulicos mais elevados.

De forma geral, os ensaios hidrodinâmicos realizados forneceram uma caracterização robusta dos parâmetros hidrogeológicos da região, ressaltando a expressiva heterogeneidade do sistema. A ampla variação nos valores de T e S reflete a interação entre zonas cársticas, fraturadas e a matriz rochosa, além da influência das coberturas residuais e das unidades de baixa permeabilidade, como os aquitardos metapelíticos. Os métodos analíticos aplicados, especialmente o modelo de Neuman, mostraram-se mais adequados para representar a realidade de aquíferos fissurais-cársticos. Por sua vez, os ensaios de recuperação, corroboram com a interpretação dos outros métodos que os sistemas cársticos-fissurais dessa sub-bacia é recoberta por aquitardos descontínuos com uma maior continuidade hidráulica, como fraturas abertas e condutos cársticos.

## REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F. F. & MARTINS-NETO, M. A. 2001. A Bacia intracratônica do São Francisco: arcabouço estrutural e cenários evolutivos. In: PINTO, C. P.; Martins-Neto, M. A. (Org.). Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais. Belo Horizonte: SBG/MG, p.9-30.
- COSTA, F. G et al. Projeto Hidrogeologia do Norte de Minas e Sul da Bahia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Diretoria de Pesquisa. SUREG-BH. 1975.
- CHANG, H. K.; KOWSMANN, R.O.; FIGUEIREDO, A.M.F. & BENDER, A.A. 1992. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift System: an Overview. *Tectonophysics*, 213 (1-2): 97138.
- DE PAULA, R.S., 2019. Modelo conceitual de fluxo dos aquíferos pelíticos-carbonáticos da região da APA Carste de Lagoa Santa, MG. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. p. 278.
- DE PAULA, R.S., VELÁSQUEZ, L.N.M., 2019. Balanço hídrico em sistema hidrogeológico cárstico, região de Lagoa Santa, Minas Gerais. *Rev. Águas Subterrâneas*, 33, 2, pp. 119-133. <https://doi.org/10.14295/ras.v33i2.29252>.
- DURÃES, M. C. O. et al. Caracterização dos impactos ambientais da mineração na bacia hidrográfica do rio São Lambert, Montes Claros/MG. *Caderno de Ciências Agrárias*, Montes Claros, v.9, n.1, p. 49-61, julho de 2017.
- GESCOM. Diagnóstico Ambiental das Bacias dos Rios São Lambert e Guavinipã. Programa de Gestão de Conflitos Relacionados à Mineração - Pólo Montes Claros. 2008. 101p.

MARTINS-NETO, M. A. 1998. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: registro de uma bacia rifte-sag do paleo/mesoproterozóico. *Revista Brasileira de Geociências*. V.28, n.2: 151-168.

PENA, M.A.C., 2023. Estimativa dos Parâmetros Hidrodinâmicos do Sistema Aquífero da região do Carste de Lagoa Santa por Métodos Diretos e Indiretos. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. p. 105.

SOARES, A. G. et al. Caracterização Hidrogeológica da Microrregião de Montes Claros. Projeto São Francisco. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM/COMIG/SEME. 2002. 97p.

WHITE, W.B., 2003. Conceptual models for karstic aquifers. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*. 1, 1, 6p.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Laboratório de Estudos Hidrogeológicos (LEHID) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pelo suporte técnico e científico indispensável para a realização deste trabalho.