

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

INTERPRETAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DAS BACIAS ESCRIVÂNIA- GORDURA E PALMEIRA-JAGUARA, NA APA CARSTE DE LAGOA SANTA, MG

Gabriela Meira Teixeira¹ ; Rodrigo Sérgio de Paula²; Leila Nunes Menegasse Velásquez³ & Alex Rodrigues de Freitas⁴

Abstract: The Lagoa Santa EPA Karst is recognized for its scenic, archaeological and paleontological riches. It was also the site of great scientific discoveries, such as the oldest human fossil in Latin America. The geological and hydrogeological characteristics of the region also stand out, as it has karst and karst-fissural aquifers responsible for urban and industrial supply. It is located about 80 km north of Belo Horizonte, Minas Gerais. Geologically, it is located in the scenario of carbonate and siliciclastic rocks of the Bambuí basin. In this context, two hydrogeological basins stand out in the area for their typical characteristics of evolved karst: the Escrivânia-Gordura and Palmeira-Jaguara basins. To advance studies of the general behavior of these basins and the relationship between surface and groundwater, discharges were monitored for four hydrological years, between 2016 and 2021. The key curves of the basins were generated, correlating the ruler reading data with the flows, and generated hydrographs with the water level data obtained automatically by pressure transducers. Through the validation of the key curves and the monitoring data, its hydrographs were generated, and, based on them, it was verified that the basins respond quickly to rainfall events, with a simultaneous increase in their flows. The two basins showed high productivity and are highly karstified, and possibly the Escrivânia-Gordura basin has allochthonous contributions.

Resumo: A APA Carste de Lagoa Santa é reconhecida pelo seu rico acervo paisagístico, arqueológico e paleontológico. Foi palco de grandes descobertas científicas, como a do fóssil humano mais antigo da América Latina. Destaca-se também suas características geológicas e hidrogeológicas, já que abriga importantes aquíferos cársticos e cárstico-fissurais responsáveis pelo abastecimento urbano e industrial. Está localizada a cerca de 80 km a norte de Belo Horizonte, Minas Gerais. Geologicamente, situa-se no cenário das rochas carbonáticas e siliciclásticas da bacia do Bambuí. Neste contexto, duas bacias hidrogeológicas se destacam na área pelas suas características típicas do carste evoluído: a bacia Escrivânia-Gordura e Palmeira-Jaguara. A fim de avançar os estudos do comportamento geral dessas bacias e das relações entre as águas superficiais e subterrâneas, foi realizado o monitoramento das descargas durante quatro anos hidrológicos, entre 2016 a 2021. A partir disso, foram geradas as curvas chaves das bacias, correlacionando os dados de leitura de régua com as vazões, e gerados hidrogramas com os dados de nível d'água obtidos automaticamente por transdutores de pressão.

1) Afiliação: Universidade Federal de Minas Gerais. v. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901. (31) 3409-5000. E-mail: gabrielameira1998@gmail.com

2) Afiliação: Universidade Federal de Minas Gerais. v. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901. (31) 3409-5000. E-mail: rodrigo.spdm@yahoo.com.br

3) Afiliação: Universidade Federal de Minas Gerais. v. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901. (31) 3409-5000. E-mail: menegase@yahoo.com.br

4) Afiliação: Universidade Federal de Minas Gerais. v. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901. (31) 3409-5000. E-mail: lecaorf@yahoo.com.br

Através da validação das curvas chaves e dos dados de monitoramento, seus hidrogramas foram gerados, e, com base neles, constatou-se que as bacias respondem rapidamente aos eventos pluviométricos, com elevação simultânea de suas vazões. As duas bacias apresentaram ter alta produtividade e são altamente carstificadas, sendo que possivelmente a bacia do Escrivânia-Gordura possui contribuições alóctones.

Palavras-Chave – Bacias Hidrogeológicas. Curvas Chaves. APA Carste Lagoa Santa.

INTRODUÇÃO

A região de estudo localiza-se a aproximadamente 35 km a norte de Belo Horizonte, Minas Gerais, e hospeda um importante centro histórico, cultural, arqueológico e paleontológico representado pelos terrenos pelítico-carbonáticos da base do Grupo Bambuí, e constitui uma das principais áreas de proteção ambiental do Brasil, denominada em 01/1991 como APA Carste de Lagoa Santa. A região integra o circuito das grutas de MG, e apresenta mais de 1200 cavidades (CECAV, 2023), sendo a Gruta da Lapa Vermelha um dos sítios arqueológicos de maior importância para América do Sul, onde foi descoberto pelo naturalista Peter Wilhelm Lund no século XIX o fóssil humano de 11.500 anos, o mais antigo da América do Sul. Apesar de sua relevância da região, a área é marcada pelo avanço da urbanização e aumento da impermeabilização do solo. É também o lugar onde foi instalada a primeira aerotrópolis do Brasil, a partir da instauração do aeroporto de Confins. Além disso, a área é marcada pela presença de mineração de calcário, da agropecuária e da indústria. Dessa maneira, é crucial que sejam desenvolvidas pesquisas de forma a se conhecer as dinâmicas hídricas dessa região de maneira a fomentar sua preservação.

O trabalho tem como objetivo realizar uma análise de duas bacias hidrogeológicas importantes para a área, a bacia Escrivânia-Gordura e Palmeira-Jaguara. Para isso, foi instaurado o monitoramento destas e outras bacias da área, entre os anos de 2016 a 2021, e avaliado o comportamento destes cursos d'água e a relação entre as águas superficiais e subterrâneas. Para tanto, foram confeccionadas curvas chave dessas bacias, analisada sua aderência com as medições *in situ* e gerados os hidrogramas a partir do monitoramento automático do nível d'água dos córregos por transdutores de pressão. Para essas análises, foram realizadas interpretações com base em estatística descritiva e na análise dos diagramas em eventos diários, anuais e para o período completo, baseando-se também nas características das bacias.

CONTEXTUALIZAÇÃO FÍSICA

As bacias estudadas estão localizadas nas cidades de Matozinhos, Prudente de Moraes e Funilândia, no contexto das rochas carbonáticas da APA Carste de Lagoa Santa e arredores. O acesso por Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, é através da MG-424, por onde se percorre cerca de 80 km sentido Funilândia, a norte. Seus limites são demarcados a norte pelos metapelitos da Formação Serra de Santa Helena, a leste pelo rio das Velhas, e a oeste pelo ribeirão da Mata (Figura 1).

Em relação à hidrografia, as bacias Palmeira-Jaguara e Escrivânia-Gordura estão inseridas no contexto da bacia regional do rio das Velhas, pertencente à bacia hidrográfica regional do rio São Francisco. A área apresenta a característica de possuir pouca densidade de drenagens superficiais, predominando a rede de drenagem subterrânea, típico do carste (DE PAULA, 2019), e o padrão retangular das drenagens faz alusão a um ambiente cárstico evoluído. Algumas particularidades sobre a rede de drenagem são notáveis, como o sentido de fluxo de norte a sul do córrego Palmeira. A existência de confluências de bacias hidrográficas gera as chamadas bacias hidrogeológicas, como é o caso das bacias estudadas. O córrego Palmeira desagua em um sumidouro e ressurge no córrego Jaguara, e constitui a bacia Palmeira-Jaguara, e a nascente da bacia fechada do Escrivânia, que emerge em um sumidouro e ressurge na bacia do córrego Gordura, forma a bacia Escrivânia-Gordura.

Com relação aos aspectos climáticos, segundo Köppen-Geiger (1928), o clima da região é típico do Tropical Úmido (Aw), com inverno seco de abril a setembro, e verão chuvoso de outubro a março. A temperatura média é de 18°C. A pluviometria média para a região da APA, calculado por Teixeira (2023) é de 1173 mm para o período de 1980 a 2021, considerando a distribuição pluviométrica por Thiessen (1911).

A geomorfologia da área é típica de um carste desenvolvido e com alta cobertura de solo. Segundo Viana *et al.* (1998), existem dois domínios geomorfológicos predominantes. O primeiro é regido pela presença de feições como dolinas, uvalas, sumidouros, paredões rochosos contendo cavernas e condutos. O segundo domínio, por sua vez, é condicionado pela presença de rochas pelíticas na área, e formam relevos mais aplainados.

GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA

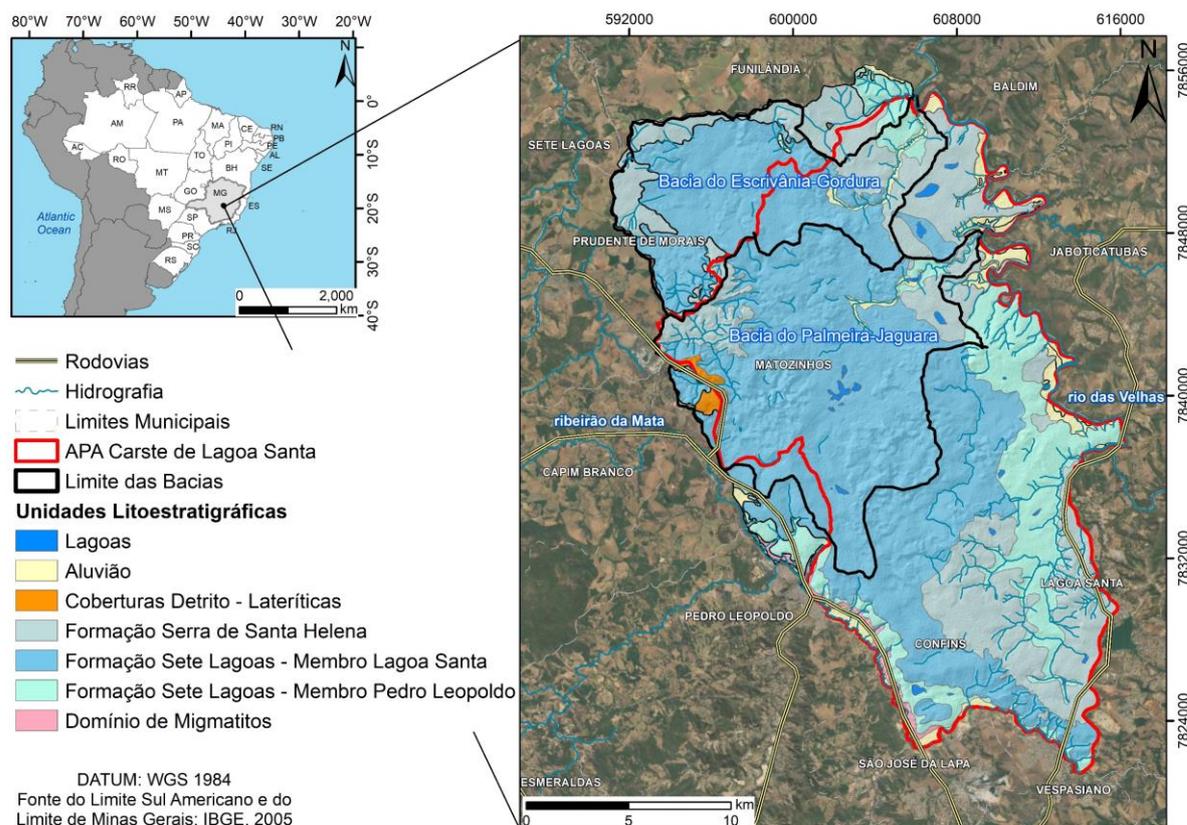
Á área de estudo insere-se no contexto da bacia intracratônica do São Francisco, unidade individualizada durante a orogenia Brasileira (ALKIMIN *et al.*, 1993). A bacia do São Francisco é composta por uma cobertura neoproterozoica de rochas clásticas e carbonáticas do Grupo Bambuí, com as formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e pela Formação Três Marias.

As unidades aflorantes do Grupo Bambuí na área são compostas pelas Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena. A Formação Sete Lagoas é dividida em dois membros: Membro Pedro Leopoldo e Lagoa Santa. Enquanto o Membro basal Pedro Leopoldo é formado por um metacalcário de granulação fina e impuro, composto, além da calcita, por sericita e quartzo, o Membro Lagoa Santa, no topo, caracteriza um metacalcário composto por um teor acima de 90% de calcita, e por isso, as feições de morfologia carbonática se apresentam mais concentradas neste membro.

A unidade de topo do Grupo Bambuí aflorante na área é composta pela Formação Serra de Santa Helena, presente principalmente nas regiões oeste da área. Essa unidade aflora como um metapelito, geralmente muito intemperizado, composto por argilominerais e quartzo. A rocha apresenta uma granulometria fina e uma foliação formada pelos planos dos minerais filossilicatos. É comum a presença de veios de quartzo paralelos ao acamamento.

No topo da estratigrafia estão as coberturas detrito-lateríticas, de granulometria variada e que formam concreções limonitizadas ou em forma de um solo laterítico contendo caulim. Além disso, a região é composta por coberturas aluvionares que margeiam os principais cursos d'água da área (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de Localização das bacias hidrográficas estudadas, com indicação também do limite da APA Carste de Lagoas Santa, da rede hidrográfica e das unidades litoestratigráficas da região.



A hidrogeologia da área é caracterizada principalmente pela existência de aquíferos carbonáticos, estudados no Brasil a mais de 70 anos. Ao considerar os aspectos geológicos, estruturais, litológicos, estratigráficos e morfológicos das rochas, De Paula (2019) discriminou quatro unidades hidroestratigráficas, correspondentes às unidades do Cristalino, de Sete Lagoas, da Serra de Santa Helena e das Coberturas, e as presentes nas bacias estudadas são as de Sete Lagoas, Serra de Santa Helena e Coberturas. A unidade Serra de Santa Helena corresponde a um aquífero que transmite água para o aquífero carbonático inferior por drenança, através dos planos de descontinuidades (DE PAULA, 2019). A unidade hidrogeológica de Cobertura é formada pelos depósitos detrito-lateríticos e pelos depósitos aluvionares, e compõem o aquífero suspenso, de pouca expressividade e espessura na área. Diferentemente das outras unidades, trata-se de um aquífero com porosidade primária, e funciona como uma zona de recarga dos aquíferos inferiores.

A unidade aquífera mais importante da área é a Sete Lagoas, e também é a unidade palco para a maior parte das investigações hidrogeológicas da área. A circulação da água nessa unidade está condicionada principalmente à existência de zonas de dissolução que formam condutos e cavernas, e também à existência de descontinuidades das rochas, como falhas e as fraturas.

Com relação à recarga, em ambientes cársticos, ela pode ocorrer de forma alogênica (água externa ao sistema) e de forma autogênica, quando a água é proveniente do próprio sistema. A recarga autogênica pode resultar da infiltração da água dos aquíferos suspensos, ou através do escoamento interno em sumidouros (WHITE, 2002). Em relação à recarga autogênica, para a área de estudo, Teixeira, Pena e Silva (2020) destacam uma zona de recarga autogênica importante para a região de estudo, proveniente da surgência Bom Jardim na porção centro-oeste da área de estudo.

De Paula e Velásquez (2019), realizaram o banco hídrico e a análise de recarga do sistema aquífero, e estimaram valores de recarga líquida de 12 a 164 mm/ano, com média de 119 mm, o que

representa 12% do total pluviométrico. Nesse mesmo estudo, os autores calculam o balanço de massa considerado as retiradas antrópicas e entradas autóctones. Os valores apresentados mostraram que, apesar da região ser uma das principais áreas de proteção cársticas do país, as retiradas antrópicas são maiores que a recarga líquida pluvial.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o cálculo da recarga aquífera a partir do escoamento de base do curso d'água, é necessário primeiramente a formulação do seu hidrograma, que relaciona a variação da vazão de um afluente em determinado período. Para a construção de hidrogramas, são necessárias medições de vazão por períodos prolongados, de no mínimo um ano hidrológico. Neste trabalho, adotou-se um monitoramento automatizado por transdutores de pressão durante quatro anos hidrológicos consecutivos, com monitoramento das vazões *in loco* utilizando micromolinete, nos córregos Jaguará e Palmeira. As medições das vazões podem ser prejudicadas por atividades antrópicas (ocorrência de captações expressivas durante o curso d'água, realizações de barramentos), por alterações naturais (grande variação de precipitação anual comparado com o período de realização das curvas), ou até mesmo por conta de modificações das seções no ponto de medição das vazões. Por conta dessas variações, deve-se sempre validar a acurácia das medições e as curvas chaves geradas.

Foram definidos os pontos fluviométricos desses córregos e instalados réguas linimétricas para a aferição do nível d'água nessas estações. O produto da área dessa seção transversal com a velocidade média do curso d'água ao longo dessa seção forneceu a sua vazão. A medição da vazão ocorreu entre os períodos de 2017 a 2021. Os transdutores de pressão foram programados para armazenar as medidas de pressão a cada hora, e essas medidas foram, posteriormente, convertidas em nível d'água.

A partir da medição manual das vazões e do nível d'água das réguas, foi possível atualizar as curvas chaves dos córregos. De Paula (2019) havia elaborado as curvas chaves entre os períodos de 2016 e 2018, e, a partir das medições realizadas entre o final de 2020 e início de 2021, as curvas chaves foram atualizadas e os resultados foram comparados com as curvas anteriores a partir da análise do erro quadrático entre as duas medidas, a fim de validar ou refutar a curva atual.

Curvas chaves são representadas de forma gráfica, relacionando a vazão, plotadas nos eixos das abscissas, com a altura do nível d'água das réguas, plotadas nos eixos das ordenadas. Esse ajuste entre os dados de cota e vazão foi realizado considerando-se o método de extrapolação logarítmica descrito por Santos *et al.* (2001), conforme a Equação 1 a seguir:

$$Q = a(h - h_0)^b \quad (1)$$

Sendo Q a descarga (vazão), "h" a lâmina d'água relativa ao Q medido, h₀ é a medida da lâmina d'água para qual obtêm-se o valor de Q nulo. Já as constantes "a" e "b" são parâmetros de ajuste específico de cada seção fluviométrica. Os parâmetros de ajustes são encontrados a partir de uma função não linear que apresente a menor diferença quadrada entre as vazões medidas empiricamente e a calculada pela função.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

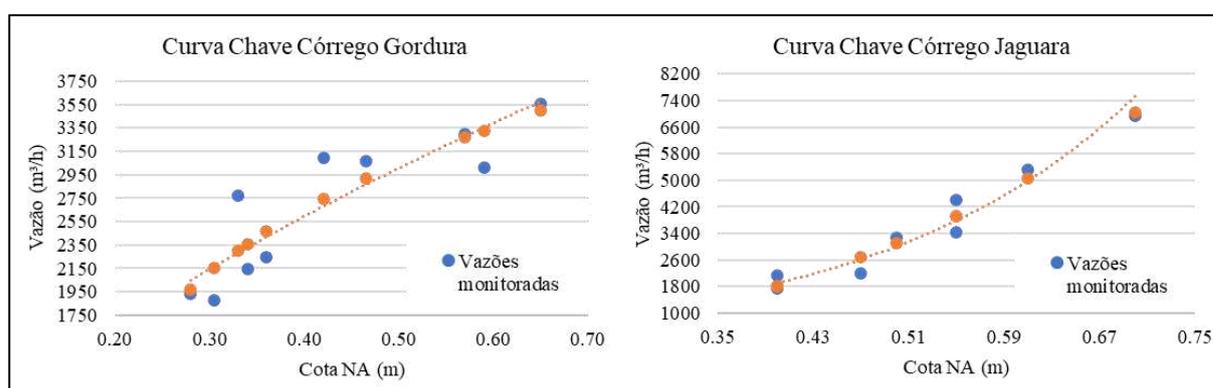
Os parâmetros das curvas chaves de cada estação de monitoramento estão assinalados na Tabela 1 e as curvas chaves representadas na Figura 2. Percebe-se que o erro quadrado (R²) entre os valores de vazão medidos em campo e os calculados ficaram todos acima de 0,88, e indica uma boa aderência das curvas. Dessa forma, elas foram consideradas válidas e foram aplicadas nos dados de monitoramento da régua obtidos automaticamente por meio dos transdutores de pressão, e produziram valores de vazão que foram utilizados para confecção dos hidrogramas das bacias que serão apresentados posteriormente.

Tabela 1 – Parâmetros de confecção das curvas chave e erro quadrado entre os valores de vazão medidos e calculados encontrados para cada estação de monitoramento.

Estações de Monitoramento	a	b	h0	R ²
Córrego Gordura	4756,21	0,39	0,19	0,88
Córrego Jaguará	16709,09	2,42	0,00	0,96

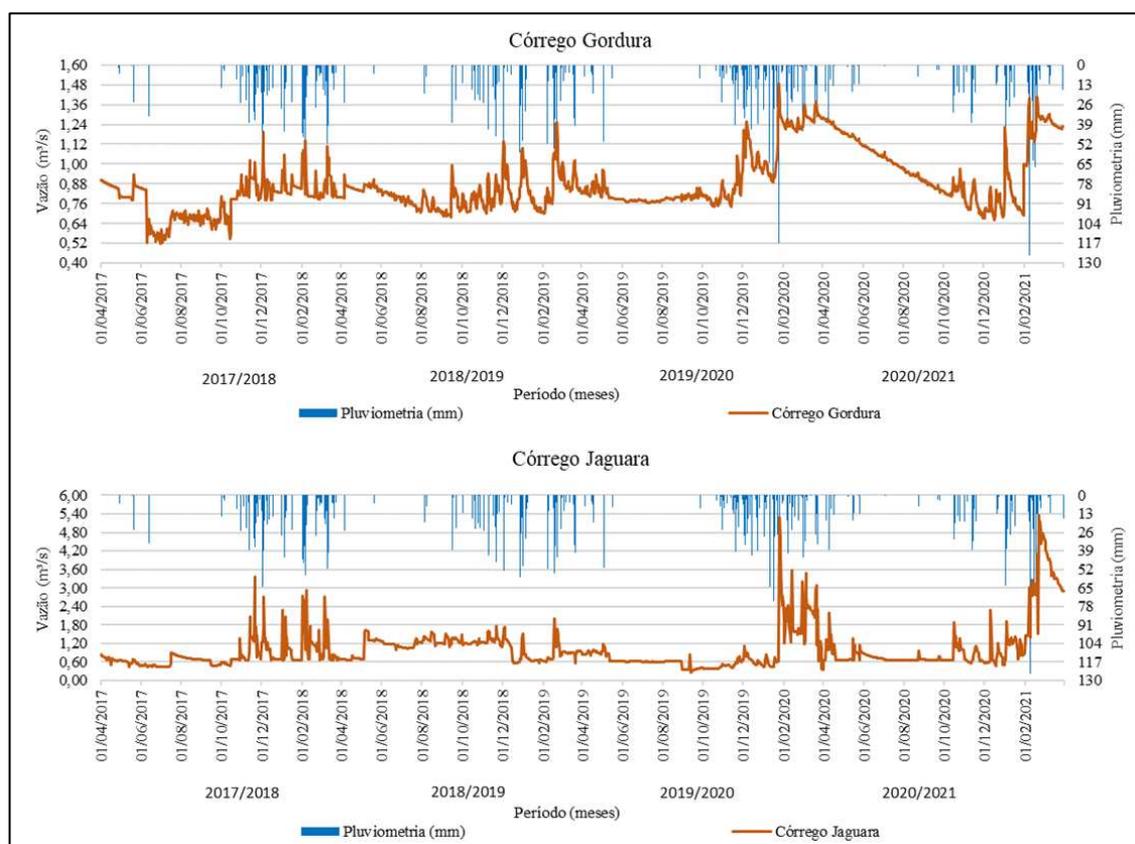
Como pode se observar na Figura 2, existem alguns pares de pontos com paralelismo vertical dentro de um mesmo hidrograma, o que indica uma dispersão de mais de 10% de vazão monitorada para uma mesma coluna d'água. Essa relação de mesma cota para variação de vazão está ligada ao erro de medida durante o monitoramento manual da vazão. Contudo, como o R² destas duas curvas foi superior a 0,88, foram mantidos os pontos durante a geração da curva, uma vez que não foi possível identificar qual das medidas mais se aproximava da realidade. Apesar de dispersões observadas em outros pontos nos gráficos das curvas chave, nenhuma outra anomalia foi verificada na geração da curva, o que aponta a validade das medições de vazão realizadas e, conseqüentemente, a sua utilização para confecção das curvas.

Figura 2 – Curvas chaves atualizadas das vazões monitoradas entre o período de 2016 a 2021 dos córregos Gordura e Jaguará.



Uma vez ratificados os dados de monitoramento e as curvas durante o ciclo de quatro anos, os dados de monitoramento por transdutores de pressão foram empregados nas curvas chaves para a confecção dos hidrogramas (Figura 3) e correlacionados com os eventos pluviométricos de modo a denotar uma relação entre águas superficiais e subterrâneas.

Figura 3 – Hidrogramas de vazão de monitoramento dos anos hidrológicos de 2016 a 2021 dos córregos Gordura e Jaguará.



Para realizar a análise dos hidrogramas, deve-se primeiramente definir os totais pluviométricos dos anos hidrológicos (Tabela 3). Observa-se que o ano hidrológico de 2019/20 caracteriza-se como um ano relativamente mais chuvoso que os demais, com valores maiores que a média histórica de 1173 mm.

Tabela 3 – Totais pluviométricos por ano hidrológico das estações representativas para o córrego Palmeira e demais córregos representados pela estação de Lagoa Santa.

Ano Hidrológico	Pluviometria Anual	Período Seco*	Período Chuvoso**
2017/18	1160,4	66,8	1093,6
2018/19	1142	142,1	999,9
2019/20	1211,4	107,6	1103,8
2020/21	1135,0	142,4	992,6

*Período Seco (abril a setembro) **Período Chuvoso (outubro a março)

Os eventos pluviométricos ocorridos no período chuvoso de 2019/20 é evidenciado nos dois hidrogramas, com o aumento significativo de vazão nos cursos d'água. O nível de água mais elevado se reflete no ano seguinte (2020/21). Dessa forma, apesar dos eventos pluviométricos do ano 2020/21 serem menores que a média histórica, o nível regional do sistema aquífero se manteve mais elevado. Portanto, pode-se inferir que durante esse período (2019 a 2021) ocorreu uma elevação regional do nível do aquífero.

Ao averiguar os eventos pluviométricos isolados e as variações de vazão, percebe-se que eles ocorrem quase que de maneira simultânea, o que corrobora com os resultados obtidos por De Paula e

Velásquez (2020) que determina tempos de respostas destes cursos d'água de um a três dias após os eventos pluviométricos

Ao avaliar a descarga das bacias, observa-se que a bacia Palmeira-Jaguara reage instantaneamente aos eventos pluviométricos e desaguam com grande velocidade, e revela ser um sistema com elevado grau de carstificação. O maior desenvolvimento do carste desta região pode ser confirmada pela existência de uma centena de cavidades observadas nestas bacias. Estudos recentes desenvolvidos por Dantas *et al.* (2023) delimitam parte desta bacia como uma das regiões de maior carstificação da área de estudo.

O córrego Jaguara expressou a maior variabilidade de vazão, e apresenta respostas rápidas aos eventos de recarga e descarga. Portanto, pode-se relacionar essa alta variabilidade ao recebimento de águas sazonais de eventos pluviométricos ocorridos nos maciços distantes desta bacia. A produtividade média obtida para os quatro ciclos de monitoramento foi de $0,0079 \text{ m}^3/\text{s km}^2$.

A bacia Escrivânia-Gordura, monitorada pelas vazões do córrego Gordura, provavelmente recebe contribuições alóctones, conforme descritos nos trabalhos de De Paula (2019) e Teixeira *et al.* (2020). Essas afirmações podem ser relacionadas à produtividade nominal destas bacias, uma vez que a vazão da bacia Escrivânia-Gordura é menor que a do córrego Jaguara, e não apresenta uma variação sazonal marcante como o Jaguara. Pelo contrário, o córrego Gordura apresenta uma descarga com distribuição homogênea, porém, a produtividade média da bacia Escrivânia-Gordura é muito alta, de $0,00915 \text{ m}^3/\text{s km}^2$.

A bacia Escrivânia-Gordura não possui nem área nem densidade de maciços superior à do Palmeira-Jaguara. Portanto, a alta produtividade específica pode ser justificada pela existência de fluxos subterrâneos provindos de fora da bacia. Teodoro (2020), em seu trabalho sobre traçadores corantes, identificou que dois terços vazão desta bacia é proveniente de fontes internas, e o restante da sua descarga tem origem ainda desconhecida.

CONCLUSÕES

Os dados de monitoramento por quatro ciclos hidrológicos possibilitaram a construção de curvas chaves robustas que tiveram os dados de monitoramento, a construção e a validade temporal ratificados. A periodicidade do monitoramento na construção de curvas chaves mostrou a importância de um monitoramento prolongado para produção e validação de curvas chaves. É importante destacar que a validade da uma curva está relacionada à preservação da mesma seção de monitoramento inicialmente definida, e à obtenção de um bom valor R^2 , sendo aqui sugerido valores superiores a 0,80. Também é importante frisar que uma boa curva chave deve ser construída com no mínimo dois anos hidrológicos completos, e que os pontos utilizados para a confecção destas curvas devem ser representativos da variabilidade pluviométrica produzida, gerando curvas mais aderentes.

As curvas chaves aferidas e validadas produziram hidrogramas de vazão com dados de monitoramento de hora em hora durante quatro ciclos hidrológicos, gerando diagramas robustos para interpretação individual de cada córrego, das bacias em eventos isolados ou ao longo do tempo. Uma importante contribuição regional foi a variabilidade de carga hidráulica do aquífero, que registrou elevações após um período de maior pluviosidade, e manteve esse nível elevado até o ano hidrológico seguinte. Essa crescente elevação do nível do aquífero se reflete na manutenção das lagoas da região, conforme descrito no trabalho do Pacheco (2023, no prelo) que registrou um aumento de mais de 10% das lagoas neste mesmo período.

Conclui-se que as duas bacias estudadas apresentam um elevado grau de desenvolvimento cárstico, evidenciado pela rápida resposta aos eventos pluviométricos, registrada pela elevação simultânea de vazão. Ambas as bacias apresentaram alta produtividade, e a bacia Escrivânia-Gordura provavelmente recebe contribuições alóctones, já que possui uma área menor que a da Palmeira-Jaguara, mas produtividade maior.

AGRADECIMENTO

Ao Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da UFMG e ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV/ICMBio) pelo financiamento, Proc. FUNDEP/GER-DAU/UFMG N° 22.317.

REFERÊNCIAS

ALKIMIN, F. F. (1993). “*Arcabouço tectônico do craton de São Francisco, uma revisão*” in III Simposio do Craton do São Francisco, Salvador, pp. 45-62.

CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (2023) Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/centros-de-pesquisa/cecav/cadastro-nacional-de-informacoes-espeleologicas/canie>. Acesso em 12 de novembro de 2022.

DANTAS, J. C. M.; VELÁSQUEZ, L. N. M.; DE PAULA, R. S. (2023). *Horizontal and vertical compartmentalization in the fissure and karstic aquifers of the Lagoa Santa Karst Environmental Protection Area and surroundings, Minas Gerais, Brazil*. Journal of South American Earth Sciences, 123, 104219.

DE PAULA, R. S. (2019). *Modelo conceitual de fluxo dos aquíferos pelíticos-carbonáticos da região da APA Carste Lagoa Santa, MG*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 279 p.

DE PAULA, R. S.; VELÁSQUEZ L. N. M. (2020). *Method to complete flow rate data in automatic fluviometric stations in the karst system of Lagoa Santa area, MG, Brazil*. Brazilian Journal of Geology.

DE PAULA, R. S.; VELÁSQUEZ, L. N. M. (2019). *Balanço hídrico em sistema hidrogeológico cárstico, região de Lagoa Santa, Minas Gerais*. Águas Subterrâneas, 33(2), 119-133.

KÖPPEN. W; GEIGER, R. (1928). *Klimate der Erde*. Justus Perthes, Gotha.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. V. B; BUBA, H. KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F. (2001). *Hidrometria Aplicada*. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, PR. LACTEC. ISBN 85-88519-01-1.

PACHECO, W. M. N (2023, *no prelo*). *Comportamento hidrodinâmico das lagoas da região da APA Carste de Lagoa Santa*. Tese de doutorado. Instituto de Geociências – UFMG. Belo Horizonte, MG.

TEIXEIRA, G. M.; PENA, M. A. C.; Silva, P. H. P. (2020). *Avaliação da conectividade hidrogeológica entre a região a sudeste de Sete Lagoas e a APA Carste de Lagoa Santa, MG*. Trabalho de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TEODORO, M. I. P. (2020). *Hidrodinâmica das Zonas Cársticas e Cárstica-Fissural do Sistema da Formação Sete Lagoas por meio de Traçadores Corantes e da Análise das Estruturas Rúpteis na Região de Lagoa Santa, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 196p.

THIESSEN, A.H. (1911). *Precipitation Averages for Large Areas*. Monthly Weather Review, 39, 1082-1089.

VIANA, H.S.; Kohler, H.C.; Tavares, V.P. (1998). *APA Carste de Lagoa Santa - Meio Físico. Volume I*. IBAMA/CPRM, Belo Horizonte.

WHITE, W.B. (2002). *Karst hydrology: recent developments and open questions*. Engineering Geology, 65, 85-105.