

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DO TEMPO DE RESPOSTA A UM APORTE PLUVIOMÉTRICO NA VARIAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA EM UM POÇO TUBULAR LOCALIZADO EM UM SISTEMA AQUÍFERO CÁRSTICO

Arthur de Souza Rodrigues¹; Rodrigo Sérgio de Paula² Leila Nunes Menegasse Velásquez³

Isabella Brito Andrade⁴

Resumo: É notável o aumento da demanda por recursos hídricos subterrâneos nos últimos anos na área da APA Cárste de Lagoa Santa localizada no estado de Minas Gerais. Tal área de proteção abrange diversas cidades localizadas na região metropolitana Belo Horizonte, a norte da capital mineira. Nessa APA foi implementada uma rede de monitoramento hidrogeológico, com a finalidade de auxiliar na compreensão dos sistemas aquíferos locais, bem como na gestão das águas subterrâneas. Desta forma, neste trabalho utilizaram-se os dados de monitoramento de nível medidos ao longo de três anos hidrológicos em um poço instalado no sistema aquífero cárstico existente na área de proteção ambiental. A partir da série histórica da variação potenciométrica observada no poço N10 calcularem-se a partir de dois métodos distintos o tempo de resposta a um evento pluviométrico na variação da cota do NA desse poço. Utilizou-se um método estático balizado pelo uso de correlações cruzadas e observações diretas na oscilação diária do nível freático do instrumento de monitoramento. Para ambos os métodos o tempo de resposta para a recarga foi similar, o que demonstra que as metodologias podem ser utilizadas para esse tipo de análise em aquíferos com carstificações bem desenvolvidas.

Palavras-Chave – Monitoramento Hidrogeológico, Recursos Hídricos, Poços Tubulares.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a rápida urbanização, industrialização e expansão agrícola ao redor da Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa tem aumentado a demanda por recursos hídricos na região. Para ordenar e compatibilizar o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental, é necessário planejamento e uma gestão, que envolvam o monitoramento e a avaliação da disponibilidade hídrica da região.

Criada em 1990 pelo Decreto Federal nº 98.881, a APA Carste de Lagoa Santa abrange os municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, Matozinhos e Funilândia, no estado de Minas Gerais. A APA possui uma área de 377,35 km² está inserida na bacia hidrográfica do rio das Velhas. Seus limites são definidos na porção leste, pelo rio das Velhas; a Oeste, Sul e Sudeste, pelo ribeirão da Mata, tributário do rio das Velhas pela margem direita; e a Norte, pelo alto hidrográfico no contexto

1) Mestrando em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 27 998888808, arthurgeologia.ar@gmail.com;

2) Professor Doutor em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (DEGEOL-IGC-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 31 991167905, rodrigo.spdm@yahoo.com.br;

3) Professora Doutora em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (DEGEOL-IGC-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 31 91234393, menegase@yahoo.com.br;

4) Mestranda em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 31 991232938, isa.andrade25@gmail.com;

de mudança da exposição dos calcários. A unidade tem como objetivo proteger e preservar as cavernas e demais formações cársticas, sítios arqueo-paleontológicos e seus recursos hídricos e naturais, de fundamental importância para a região.

Desta forma, para se determinar a disponibilidade hídrica subterrânea, é necessário um correto planejamento e gestão, a partir do monitoramento dos níveis freáticos, da pluviometria, bem como de aspectos geológicos e hidrogeológicos. Isso permite compreender as condições atuais do aquífero em relação aos estados passados e tomar medidas em relação às modificações causadas por efeitos naturais e/ou antrópicos. A dinâmica das águas subterrâneas disponíveis depende dos fatores que controlam os volumes de água que entram e saem do sistema aquífero (Pessoa, 2005).

A região da APA Carste de Lagoa Santa apresenta uma complexa interação na dinâmica de fluxos de entrada e saída de água. As rochas carbonáticas, como calcários e dolomitos, controlam a direção, volume e qualidade dos fluxos de água subterrânea nessa área de proteção ambiental. Essas rochas pertencem ao Grupo Bambuí, mais especificamente à Formação Sete Lagoas, que é dividida nos Membros Lagoa Santa (Superior) e Pedro Leopoldo (Inferior), separados de acordo com o teor de carbonato presente nos calcários e dolomitos. Elas estão sobrepostas ao embasamento composto por granitos e gnaisses do Complexo Belo Horizonte.

Isso posto, a morfologia e a estrutura do terreno nessa área são influenciadas pelos processos naturais de dissolução e erosão das rochas carbonáticas, principalmente pela percolação de águas naturais. A dinâmica hídrica subterrânea é controlada pela disposição, extensão e volume de descontinuidades, condutos e cavernas. O Membro Lagoa Santa é descrito como uma unidade hidrogeológica mais carstificada em comparação com o Membro Pedro Leopoldo, em que o fluxo de água por fissuras e descontinuidades é predominante, enquanto o Complexo Belo Horizonte está associado a um sistema aquífero fissural.

Portanto, compreender essas condições é fundamental para caracterizar os sistemas aquíferos e a complexa circulação das águas subterrâneas nas rochas que compõem a APA Cárste de Lagoa Santa. Assim, o monitoramento dos níveis freáticos em uma região possibilita avaliar a disponibilidade hídrica subterrânea e tomar medidas adequadas para lidar com alterações causadas por fatores naturais e/ou antrópicos.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar o tempo necessário para que um sistema aquífero cárstico responda a uma recarga de água pluvial, ou seja, o tempo que necessário para o nível freático em um local específico se elevar após uma recarga. Observaram-se as variações potenciométricas em um poço tubular chamado poço “N10”, que faz parte de uma rede de monitoramento na área da APA Carste de Lagoa Santa. Para avaliar o tempo de resposta a um evento pluviométrico, foram utilizados dois métodos distintos, que foram comparados para validar a eficácia de ambos.

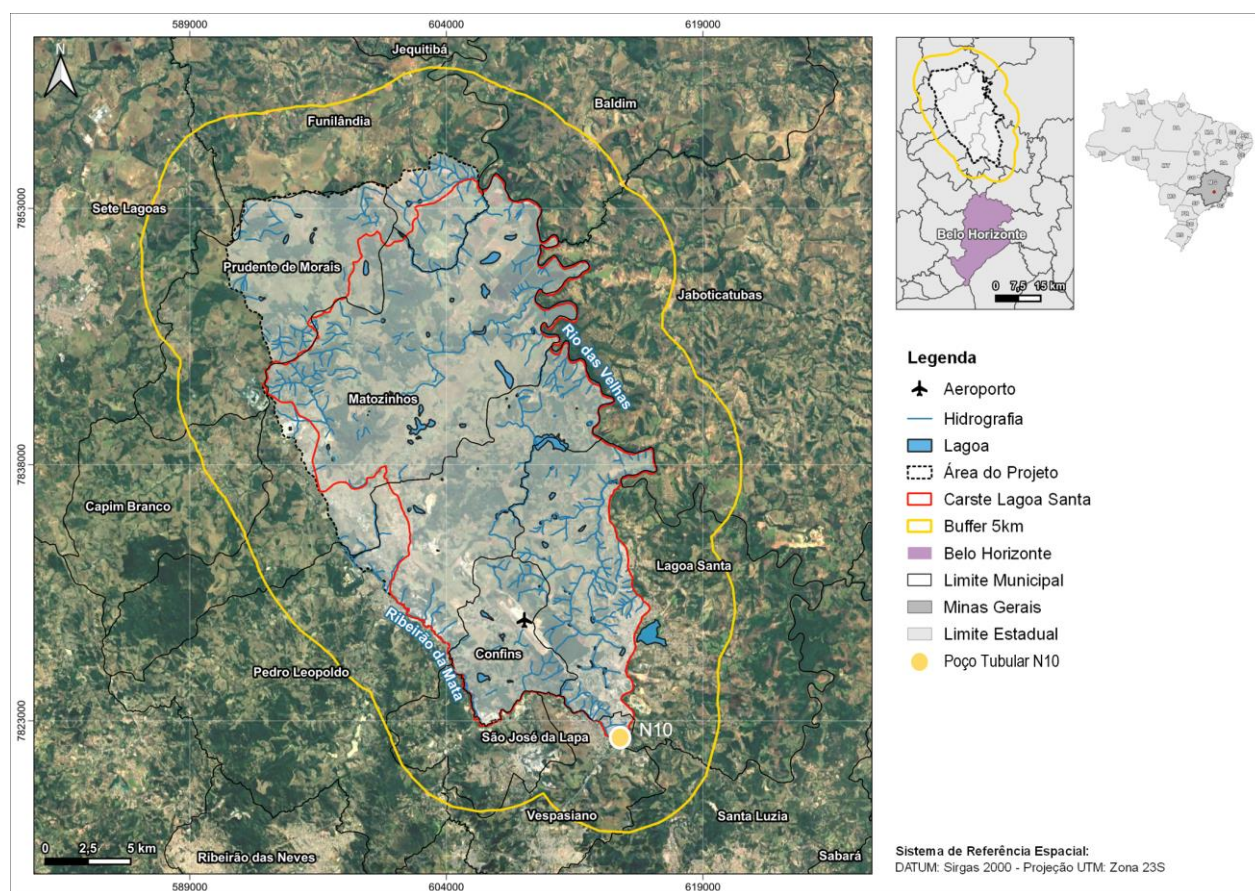
MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, avaliou-se as alterações de nível de água subterrânea em um poço tubular instalado em rochas carbonáticas do Membro Lagoa Santa, localizado na porção sul da área da APA Cárste de Lagoa Santa, verificaram-se dados de uma série histórica de três anos de monitoramento de nível.

O monitoramento do nível de água subterrânea no poço N10 teve início em abril de 2018 e foi concluído em maio de 2021, abrangendo três ciclos hidrológicos completos: abril/2018-março/2019 (Ano 01); abril/2019-março/2020 (Ano 02); e abril/2020-março/2021 (Ano 03). Para identificar o sistema aquífero no qual esse poço foi instalado, o interior dessa estrutura foi filmado. Pôde-se, assim, verificar que esse poço foi instalado em uma área caracterizada por um sistema aquífero cárstico.

A área da rede de monitoramento da qual o poço N10 foi selecionado pode ser observada na Figura 1.

Figura 1 - Mapa com a localização do Poço Tubular N10 em relação a área da APA Cárste de Lagoa Santa e da região ocupada pela rede de monitoramento de onde esse poço foi selecionado.



As medidas dos níveis de água subterrânea foram realizadas de duas formas, um método de medição manual com o auxílio de um medidor de nível de água analógico e outro método automatizado, com verificações horárias das variações do NA.

Para validar a qualidade da medição dos níveis de água, foram realizadas análises tanto nos dados brutos para identificar possíveis falhas no processo de medição quanto na avaliação da curva gráfica gerada a partir dos dados medidos automaticamente. Os níveis d'água medidos manualmente foram plotados sobre as curvas geradas para representar a variação do NA (nível d'água) calculada a partir das oscilações de pressão de coluna d'água medidas nos transdutores. Dessa forma, foi possível verificar a coerência entre os métodos de aferição de nível. Os dados de pluviometria foram obtidos na plataforma digital HIDRO-WEB e são referentes à estação pluviométrica 1943009 localizada no município de Vespasiano.

De Paula (2019) determinou a velocidade de resposta de cursos d'água localizados na área da APA Cárste de Lagoa Santa a aportes de água pluvial. Para alcançar esse objetivo, análises estatísticas nas quais foram utilizadas correlações cruzadas para analisar séries temporais cursos d'água localizados em áreas caracterizadas por aquíferos cársticos, seguindo a metodologia apresentada por Ferrari & Karmann (2008).

Através da análise dos dados coletados nas estações fluviométricas que compõem a rede de monitoramento avaliada no projeto, o pesquisador conseguiu avaliar o tempo de resposta para que o a vazão de um determinado curso hídrico seja alterada pela recarga de água para os sistemas aquíferos locais. Isso foi possível graças ao entendimento do tempo de *delay* entre os inputs e outputs de água

em um aquífero cárstico, o qual auxilia na quantificação do tempo de trânsito de uma partícula dentro de um sistema hidrogeológico.

Para determinar o tempo de delay, a autora utilizou a equação 1 para calcular o coeficiente de correlação entre as séries temporais de pluviometria e variação da vazão medida nos cursos d'água, conforme apresentado na equação 2. O índice de delay k (dias) foi caracterizado pelo tempo de trânsito entre $k = 0$ e o k em que $rx_y(k)$ seja um valor observado entre 0,1 e 0,2.

$$rx_y(k) = Cxy \frac{k}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

$$Cxy(k) = (1/n) \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x}) \times (y_{t+k} - \bar{y}) \quad (2)$$

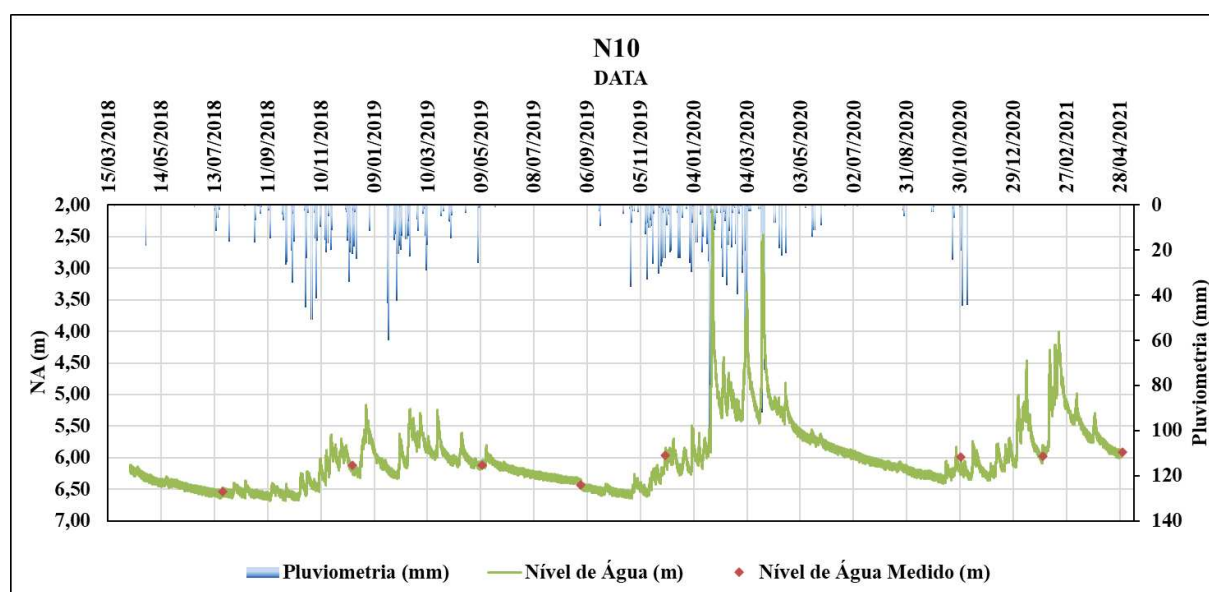
Tal método foi aplicado para a série histórica composta a partir da medição consistente do nível de água no poço N10 durante os três anos de monitoramento. Os dados referentes aos aportes pluviais utilizados são alusivos às primeiras chuvas observadas após um período de pelo menos 15 dias sem nenhum evento pluviométrico, diminuindo interferências de outras águas meteóricas em relação às alterações no nível de água, ou seja se tem a certeza de que essa variação do nível freático são realmente ocasionadas pelo aporte de água proporcionado durante os eventos pluviométricos. Foram medidos os tempos de resposta entre os meses de setembro e outubro para o ano hidrológico 01, entre outubro e novembro para o ano 02, e entre setembro e outubro para o ano 03.

Além disso, como forma de identificar qual o tempo necessário para que a cota do nível de água observado em um poço seja elevada, foram verificadas as variações diárias dos níveis de água para validar quantos dias após a incidência das chuvas haveria uma acreção ao nível de água do instrumento monitorado. Com base nesses resultados, a autora pôde-se determinar a velocidade de resposta para uma recarga no poço N10.

RESULTADOS

Após os três anos de monitoramento hidrogeológico realizado no poço N10 obteve-se a série histórica exibida graficamente na Figura 2.

Figura 2: Gráfico gerado a partir dos dados de monitoramento para o poço tubular “N10”.



Para os níveis de água aferidos no poço de monitoramento N10, os valores de k obtidos a partir do uso do método empregado por Ferrari & Karmann (2008) para verificação do tempo de trânsito de uma partícula em um ambiente cárstico, foram comparados ao tempo necessário para que a carga

hidráulica do poço aumentasse após um evento pluviométrico significativo. Nas Figuras 3 e 4 são apresentados os quantitativos de dias que se passaram até que uma variação no nível de água do poço fosse observada, após uma recarga, bem como a contagem de dias para que se pudesse observar uma correlação entre um evento pluviométrico e a variação do NA de um poço.

Figura 3: Comparativo entre o tempo de trânsito calculado a partir do método de Ferrari & Karmann (2008) para cada um dos anos de monitoramento do NA do N10.

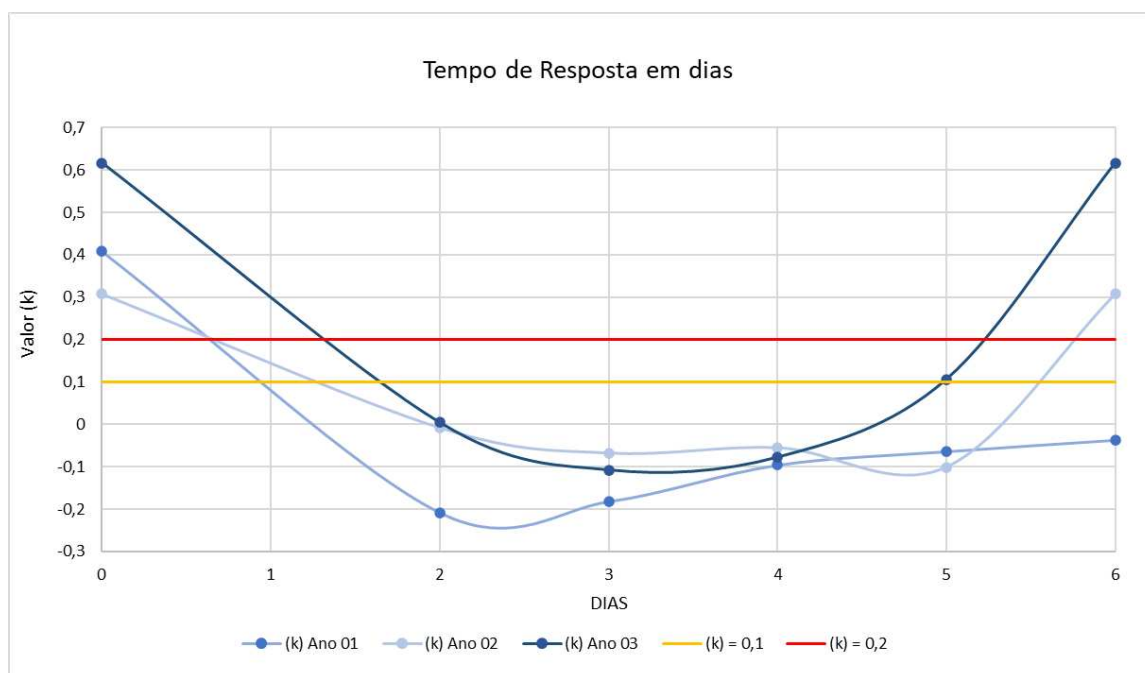
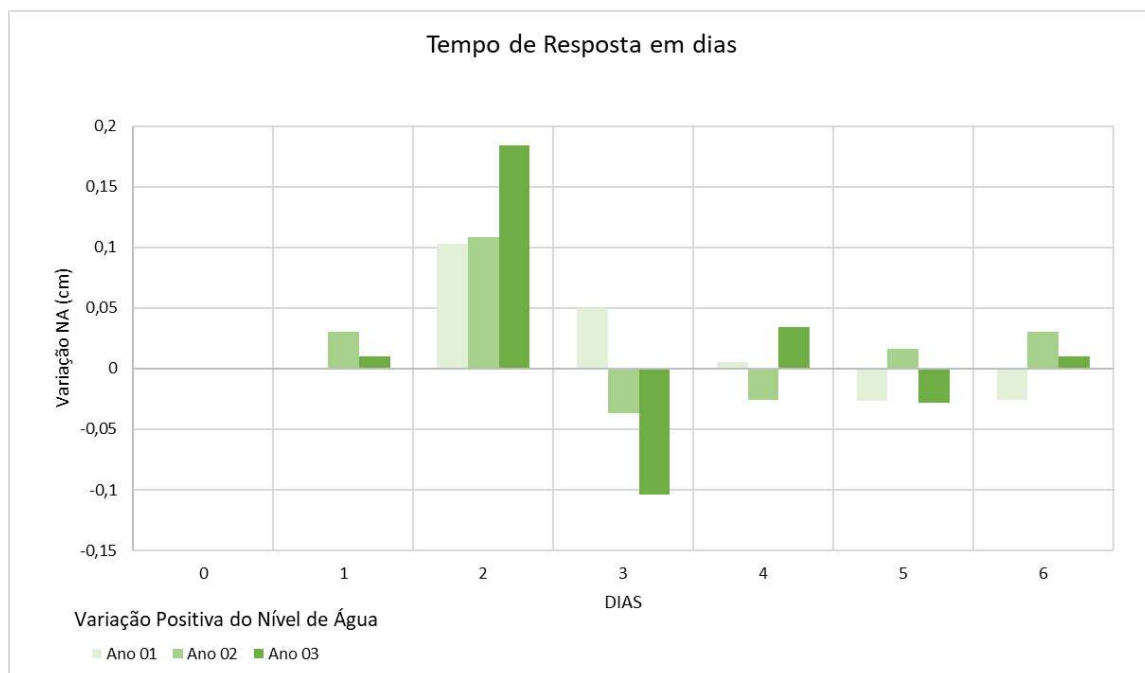


Figura 4: Comparativo entre o tempo de trânsito calculado a partir da variação ocasionada por um evento pluviométrico pré definido para cada um dos anos de monitoramento do NA do N10



Pôde-se observar que os valores de (k) apresentados de forma gráfica na Figura 3 ficam entre 0,1 e 0,2 um dia após se observar um evento pluviométrico no primeiro e no segundo ano de monitoramento do poço N10, enquanto o valor de (k) é observado nessa faixa após dois dias do aporte de água pluvial no terceiro ano. Outrossim, ao se observar os resultados exibidos na Figura 4, nota-

se que o nível de água varia positivamente um dia após um evento pluvial no segundo e terceiro ano de monitoramento do NA do poço N10, já no primeiro ano de monitoramento desse poço, o aumento da cota no nível potenciométrico desse poço foi identificado dois dias após o evento pluviométrico.

CONCLUSÃO

Neste estudo analisou-se o tempo necessário para que um sistema aquífero cárstico responda a aporte de água pluvial, utilizando-se para essa atividade os dados obtidos após três anos de monitoramento do nível potenciométrico do poço tubular N10.

O monitoramento dos níveis de água subterrânea no poço N10 foi realizado manualmente e de forma automatizada. Os dados coletados foram analisados estatisticamente para determinar o tempo de resposta do aquífero à aportes pluviais. Além disso, foram verificadas as variações diárias nos níveis de água para identificar o tempo necessário para a elevação do nível após a ocorrência de chuvas.

Os resultados mostraram que o tempo de resposta do aquífero variou entre um e dois dias após a recarga de água, dependendo do ano de monitoramento. Os resultados foram obtidos comparando os dados do tempo de trânsito da água no aquífero, determinado a partir do método utilizado Ferrari & Karmann (2008), com as variações diretas observadas nos níveis de água após eventos pluviométricos.

Durante os três anos hidrológicos analisados, verificou-se que os resultados obtidos pela autocorrelação foram similares aos observados diretamente para o poço localizado no aquífero cárstico, apresentando, quando existentes, diferenças de apenas um dia. Desta forma, pode-se concluir que, nesse poço, cuja carstificação é mais bem desenvolvida, o tempo de resposta a uma recarga é de 1 a 2 dias, como observado para o poço N10.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Minas Gerais e ao PPGEOL e LEHID, bem como aos professores e alunos que apoiaram este trabalho.

Ao apoio financeiro da CECAV, o qual foi possibilitado a partir do projeto intitulado de: “Projeto de Adequação e Implantação de uma Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Áreas com Cavidades Cársticas da Bacia do Rio São Francisco Aplicado à Área Piloto da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

- DE PAULA, R. S. (2019). Modelo conceitual de fluxo dos aquíferos pelíticos-carbonáticos da região da APA Carste de Lagoa Santa, MG. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 150.
- FERRARI, J. A. & KARMANN, I. (2008) Comportamento Hidrodinâmico de Sistemas Cársticos na Bacia do Rio Betari, Município de Iporanga – SP. Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, SP. Revista do Instituto de Geociências – USP. V.8, n.1: 1-13,.
- PESSOA, P. F. P. (2005). Hidrogeologia dos aquíferos cársticos cobertos de Lagoa Santa, MG.