

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

RECARGA DOS AQUÍFEROS NO FLANCO OESTE DO SINCLINAL MOEDA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS

Isabella Brito Andrade¹ ; Arthur de Souza Rodrigues² ; Rodrigo Sérgio de Paula³ ; Tiago Amâncio Novo⁴

Abstract:

This study presents the recharge rate values for the aquifer units in the western flank of the Sinclinal Moeda, in the Quadrilátero Ferrífero region, Minas Gerais, Brazil. For this purpose, seventeen flow monitoring instruments distributed in the study area were analyzed, covering a data period from October 1999 to October 2019. Using the Thiessen polygon method with the aid of rainfall stations, the VU Smakhtin (2001) methodology was applied to calculate the infiltration rate in the main aquifer units of the western flank, based on Mourão (2007) classification. Thus, minimum, mean, and maximum values were obtained for groundwater recharge in the Moeda (3%, 18%, and 46%), Cauê (9%, 26%, and 49%), Gandarela (18%, 28%, and 45%), and Itacolomi (6%, 15%, and 44%) aquifers.

Resumo:

Este estudo apresenta os valores de taxa de recarga para as unidades aquíferas do flanco oeste do Sinclinal Moeda, na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Para tanto, foram analisados dezessete instrumentos de monitoramento de vazão dispersos na área de estudo, que compreendiam um período de dados entre outubro de 1999 a outubro de 2019. Com auxílio das estações pluviométricas, elaboração dos polígonos de Thiessen, foi possível utilizar a metodologia de VU Smakhtin (2001) para calcular a taxa de infiltração nas principais unidades aquíferas do flanco oeste, com auxílio da classificação de Mourão (2007). Dessa forma, obteve-se valores mínimos, médios e máximos para a recarga subterrânea para os aquíferos Moeda (3%, 18% e 46%), Cauê (9%, 26% e 49%), Gandarela (18%, 28%, 45%) e Itacolomi (6%, 15% e 44%).

Palavras-Chave – Hidrogeologia; Recarga dos aquíferos; Sinclinal Moeda

INTRODUÇÃO

O estudo de recarga dos aquíferos é fundamental para compreender a quantidade de água que pode ser naturalmente reabastecida no subsolo, garantindo a disponibilidade contínua de água subterrânea para abastecimento urbano, atividades agrícolas e industriais, além de proteger a qualidade da água e diluir poluentes e substâncias nocivas. A avaliação da recarga é essencial para o planejamento sustentável do uso da água, evitando a superexploração e permitindo a preservação dos recursos

1) Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Antônio Carlos, nº 6627, Bairro Pampulha, CEP: 31.270-901, Belo Horizonte, MG. telefone: (31) 3499-4578 e fax: (31) 3499-4130, isa.andrade25@gmail.com

2) Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Antônio Carlos, nº 6627, Bairro Pampulha, CEP: 31.270-901, Belo Horizonte, MG. telefone: (31) 3499-4578 e fax: (31) 3499-4130, arthurgeologia.ar@gmail.com

3) Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Antônio Carlos, nº 6627, Bairro Pampulha, CEP: 31.270-901, Belo Horizonte, MG. telefone: (31) 3499-4578 e fax: (31) 3499-4130, rodrigo.spdm@yahoo.com.br

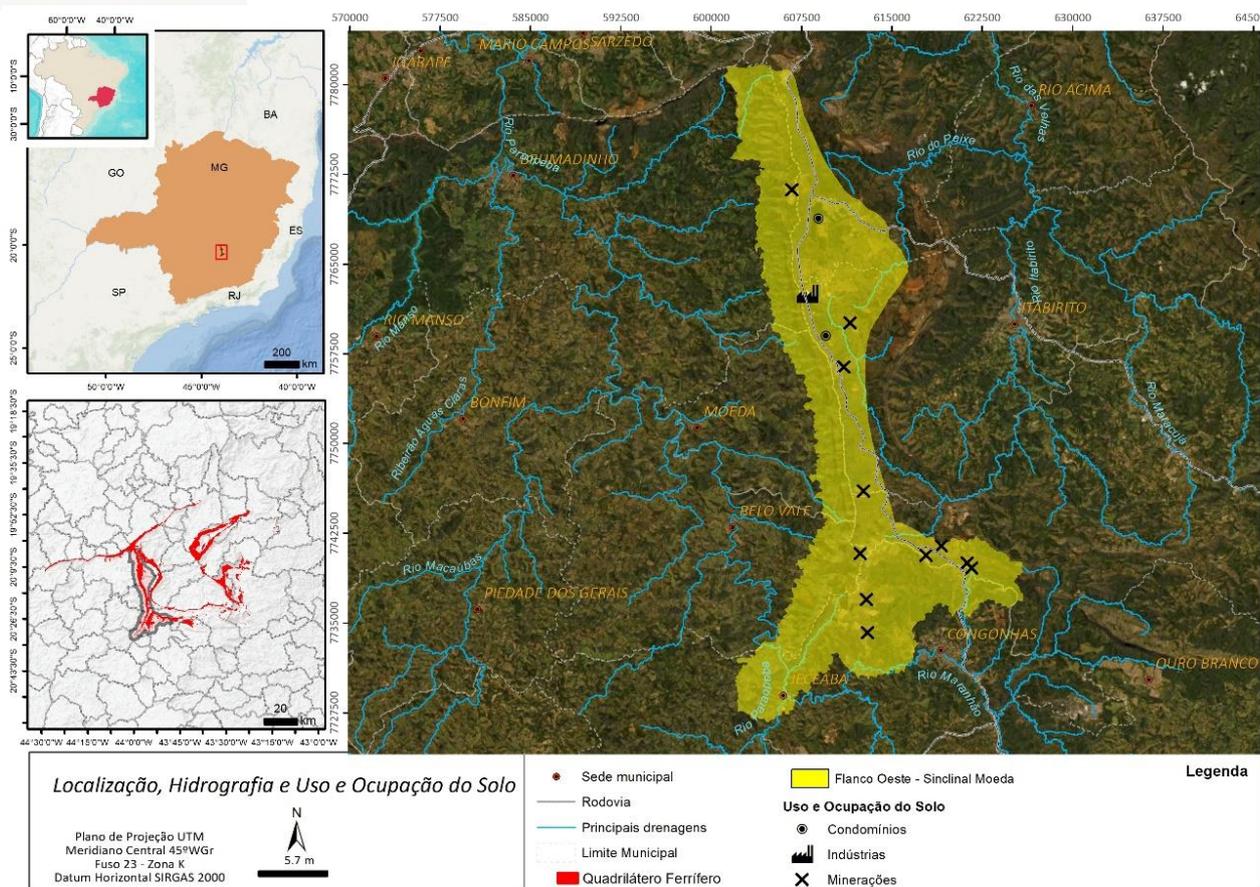
4) Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Antônio Carlos, nº 6627, Bairro Pampulha, CEP: 31.270-901, Belo Horizonte, MG. telefone: (31) 3499-4578 e fax: (31) 3499-4130, tiagoanovo@gmail.com

hídricos e dos ecossistemas associados aos aquíferos. É uma ferramenta crucial para a gestão integrada dos recursos hídricos e para garantir a sustentabilidade do abastecimento de água para as gerações presentes e futuras. Nesse sentido, compreender os aquíferos, em particular o aquífero Cauê no flanco oeste do Sinclinal Moeda, localizado na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, é fundamental devido à importância que esse sistema aquífero desempenha no fornecimento de água subterrânea e abastecimento urbano na capital de Minas Gerais, bem como nos impactos provenientes da exploração do minério de ferro que interferem ativamente nesse sistema aquífero. A Figura 1 mostra a localização da área de estudo.

Do ponto de vista hidrogeológico, e de acordo com a classificação de Mourão (2007), existem diferentes unidades aquíferas presentes no flanco oeste que estão intimamente ligadas aos litotipos geológicos aflorantes (Dorr, 1969), como aquíferos quartzíticos (Moeda e Itacolomi), aquíferos carbonáticos (Gandarela), aquíferos em formações ferríferas (Cauê) e aquíferos itabiríticos (Coberturas). Esses aquíferos desempenham um papel essencial na recarga do sistema aquífero e na disponibilidade de água subterrânea na região (Mourão, 2007).

Com o objetivo de compreender sua dinâmica, comportamento hidrológico, potencial de recarga e identificar os impactos que podem afetar a disponibilidade e a qualidade da água subterrânea, o presente estudo consolida a taxa de recarga das unidades aquíferas com base em dados públicos disponíveis no flanco oeste do Sinclinal Moeda. Este estudo do aquífero Cauê tem um impacto direto na qualidade de vida das pessoas, na economia regional e na conservação dos recursos naturais, tornando-se uma questão estratégica para o planejamento e gestão do abastecimento hídrico em Belo Horizonte e seu entorno.

Figura 1 – Localização do flanco oeste do Sinclinal Moeda,.



METODOLOGIA

A partir de dados públicos disponíveis pelo IGAM (Instituto Mineiro de Águas Subterrâneas), pela plataforma do SIAM (Superintendência do Meio Ambiente), por meio de consulta online, realizou-se um levantamento de pontos d'água que possuem dados históricos de monitoramento de vazão na região do flanco oeste do Sinclinal Moeda, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Esses dados provieram de empreendimentos que se situam na área e compreendem o período de outubro de 1999 a outubro de 2019. Cerca de 65 pontos de monitoramento de vazão foram levantados, compreendendo, pelo menos dois anos de dados. As séries de monitoramento desses instrumentos localizados na área de estudo ora contempla períodos contínuos ora contempla períodos descontínuos. Ademais, a distribuição espacial dos pontos é esparsa e dispersa, com um acúmulo de pontos d'água principalmente na região sul da área de estudo. Outra dificuldade foi reconhecer, entre a série de monitoramento, quais pontos poderiam ter interferência de atividades antrópicas, como contribuição artificial, barramento e/ou redução da drenagem por atividade antrópica. Dessa forma, apenas 17 instrumentos alocam-se em unidades aquíferas únicas, sem interagir com unidades aquíferas adjacentes. Esses pontos foram os selecionados para definir a recarga de cada unidade aquífera, e assim, auxiliar no entendimento da dinâmica hídrica do flanco oeste do Sinclinal Moeda.

Para tanto, a delimitação da área da bacia correspondente à unidade hidrogeológica foi feita com base na localização do vertedouro, associado ao mapa geológico UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto (2021) e traçada manualmente utilizando o modelo digital de terreno obtido da imagem Alos Palsar 12,5 x 12,5 m (2011), fornecido pelo ASF (*Alaska Satellite Facility*), juntamente com a hidrografia correspondente através de uma base otocodificada (1:25.000) do IGAM.

Desses pontos utilizou-se a separação de hidrograma proposta por VU Smakhtin (2001), para cálculo da recarga. O autor fundamenta-se nos registros mensais de vazão dos vertedouros e, ao

relacioná-los com o fenômeno das ondas, distingue o fluxo em ondas de baixa frequência (fluxo de base) e ondas de alta frequência (fluxo superficial). Dessa forma, por meio da definição de um parâmetro recursivo de filtro digital, é possível diferenciar esses dois fenômenos no hidrograma. Esse parâmetro está relacionando com o índice de chuvas, e auxilia na separação do fluxo de base dos aquíferos definido graficamente.

Além disso, é necessário incluir um valor inicial que represente o fluxo de base - correspondente à baixa frequência. Quando necessário, o fluxo de base precisa ser ajustado na série histórica de monitoramento, levando em consideração os picos de chuva. O resultado obtido a partir da separação do hidrograma é analisado em relação à precipitação e à área da bacia de contribuição, a fim de obter a taxa percentual de recarga anual de cada unidade aquífera previamente definida.

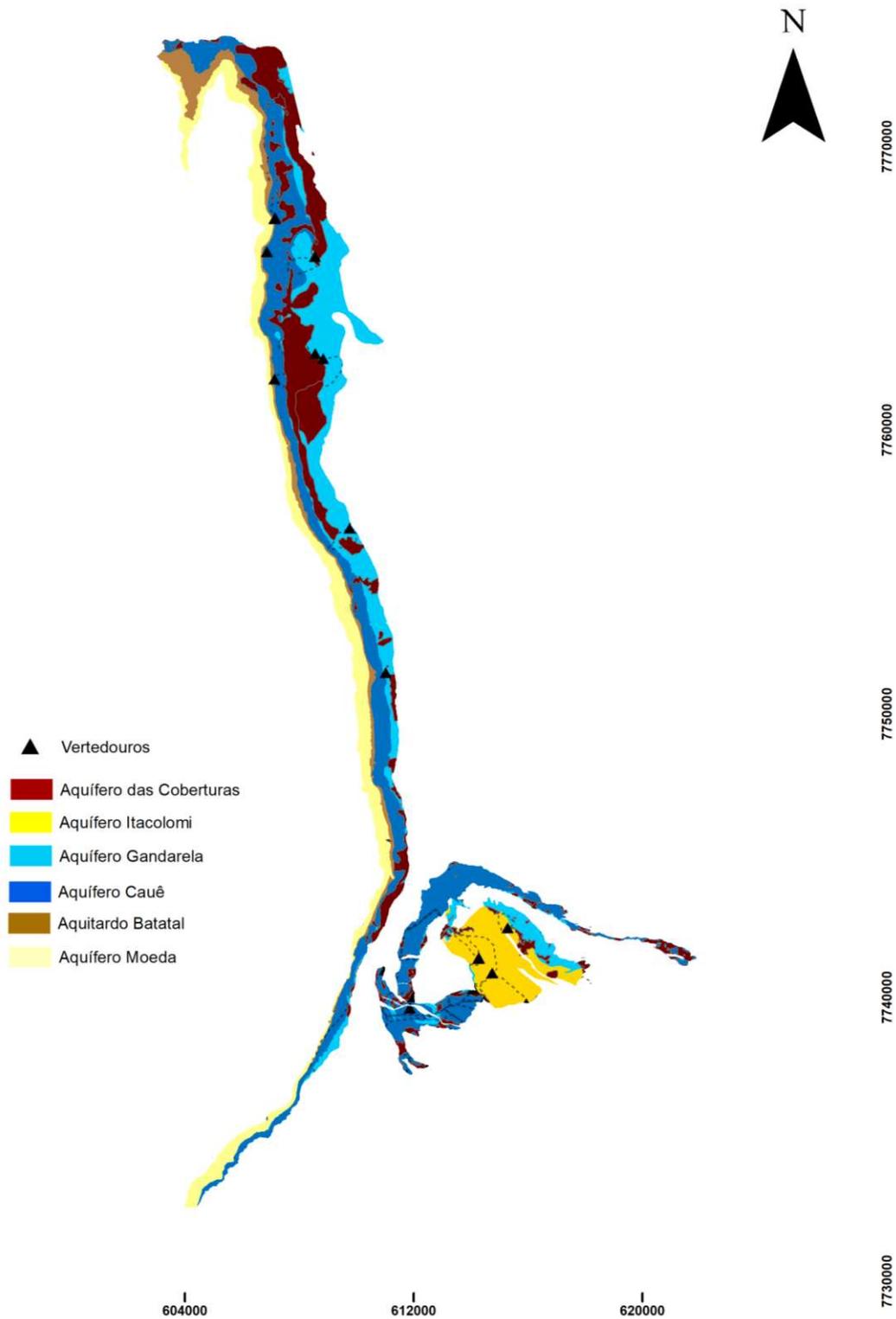
Para obter dados precisos de precipitação, foram utilizados registros provenientes de oito estações de monitoramento hidrometeorológico selecionadas, que abrangem a série de dados deste estudo, de outubro de 1999 a outubro de 2019. Por meio do método de polígonos de Thiessen, elaborado com auxílio do ArcGis, calculou-se a média pluviométrica (em mm/ano) para cada domínio. Vale ressaltar que o ano hidrológico tem início na região de estudo no mês de outubro. Os dados hidrometeorológicos foram disponibilizados pela plataforma Hidroweb da ANA (Agência Nacional das Águas).

Ao obter diferentes valores de recarga para cada unidade aquífera, a depender do traçado da microbacia, com a geologia e a hidrografia traçada, aplicou-se a média aritmética como valor representativo da recarga nas unidades aquíferas.

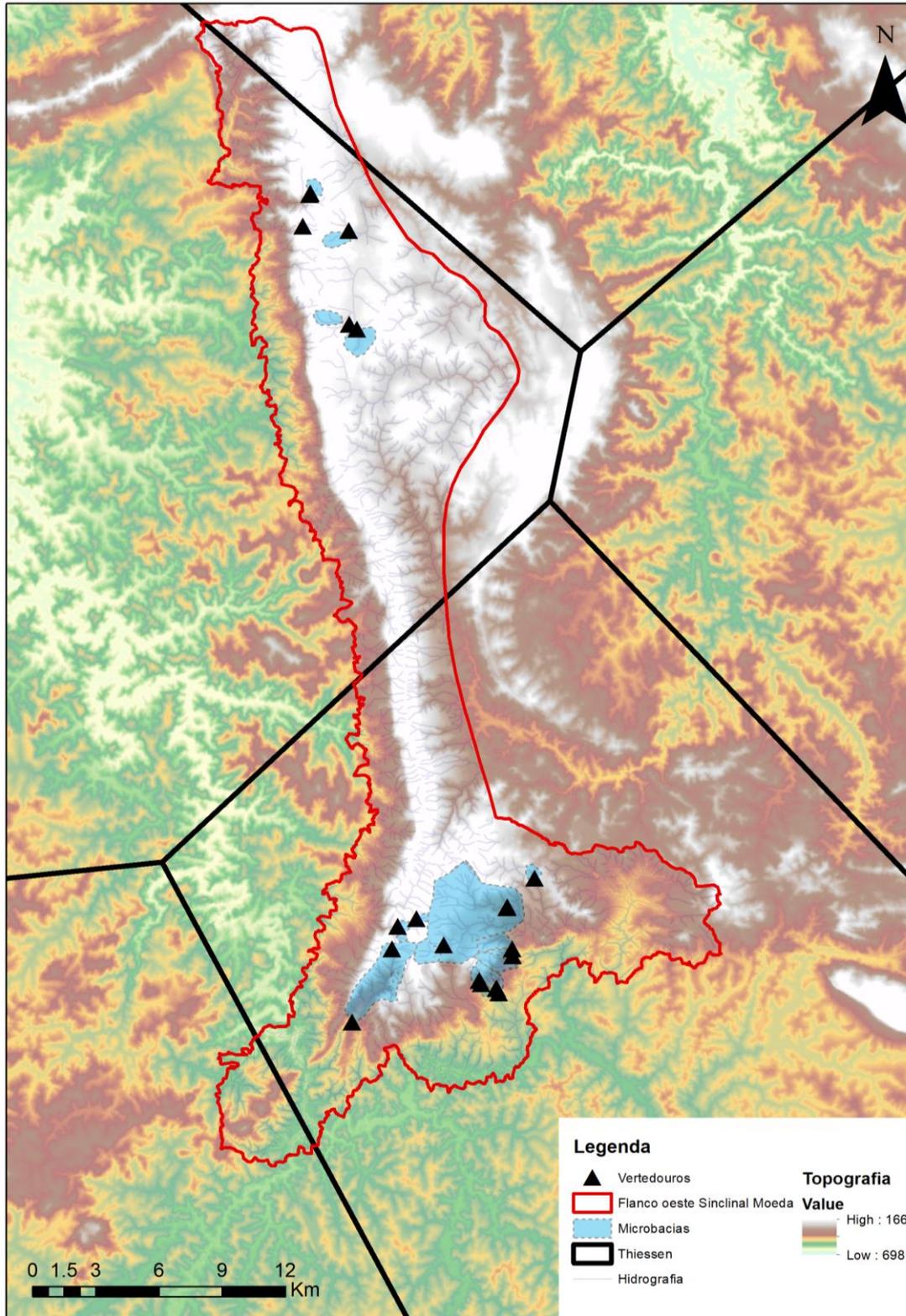
RESULTADOS

Os dados levantados de dados públicos contemplam 17 pontos de monitoramento de vazão no flanco oeste do Sinclinal Moeda, distribuídas nas unidades aquíferas Moeda, Cauê, Gandarela, Itacolomi e Coberturas. A Figura 2 apresenta as bacias hidrográficas delimitadas associadas com a geologia. Cabe ressaltar que o aquífero Batatal foi incorporado apenas para representatividade na Figura 2.

Figura 2 – Unidades hidrogeológicas associadas com os hidrogramas e as bacias de contribuição.



A partir dos polígonos de Thiessen determinou a influência da pluviometria nas vazões dos instrumentos e nas bacias de contribuição (Figura 2).

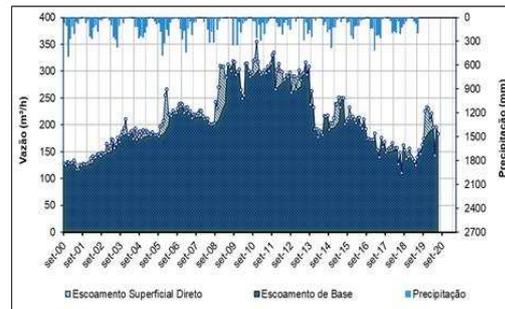
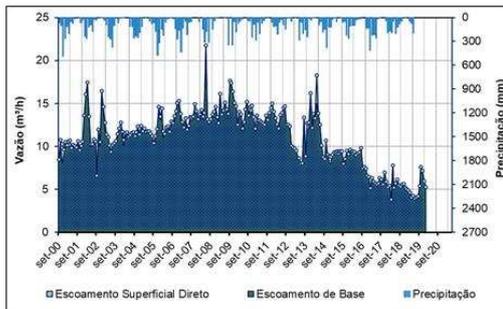


Ao associar os dados oriundos da distribuição espacial dos vertedouros com seus dados de monitoramento, as bacias de contribuição associadas e os dados de precipitação obtidos com auxílio dos polígonos de Thiessen foi-se possível realizar a separação de hidrograma pelo método proposto de VU Smakhtin.

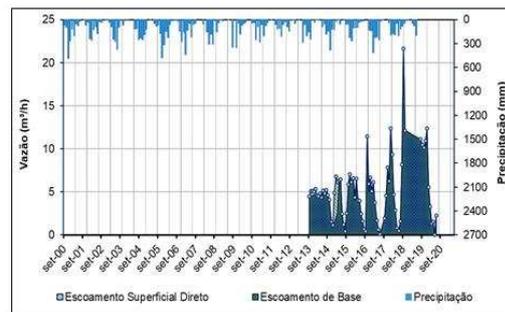
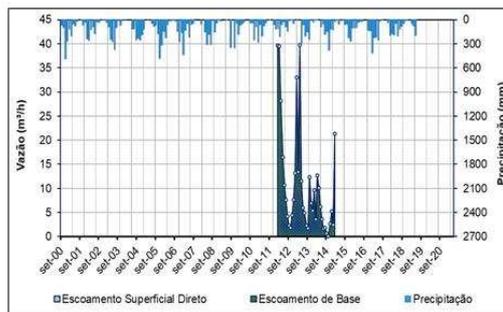
Como mencionado anteriormente, por meio do filtro recursivo digital é possível separar, graficamente, o escoamento de base e o fluxo superficial dos hidrogramas. Com base nessa premissa, o parâmetro recursivo de filtro digital aplicado à área de estudo deve ser inferior a 0,97, uma vez que a média anual de precipitação na área do Sinclinal Moeda é de 1350 mm/ano. A Figura 3 apresenta alguns dos hidrogramas com os resultados da separação do fluxo.

Figura 3 – Exemplos de hidrogramas para cálculo da recarga a partir do método de VU Smakhtin (2001)

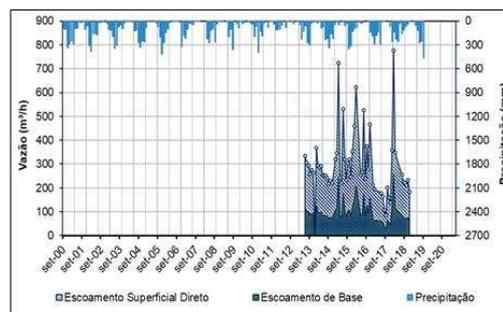
AQUÍFERO CAUÊ



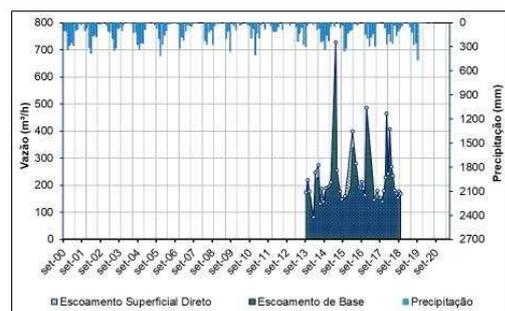
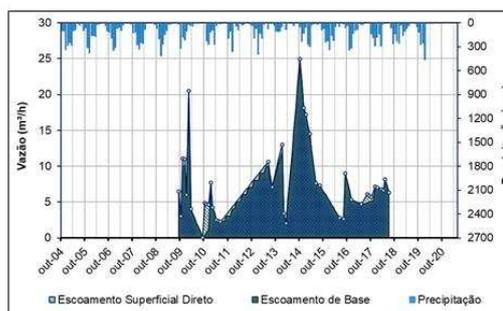
AQUÍFERO GANDARELA



AQUÍFERO ITACOLOMI



AQUÍFERO MOEDA



Mediante aos resultados da separação de hidrograma e com os dados pluviométricos, foi-se possível calcular a taxa percentual média da recarga para os instrumentos e a sua bacia de contribuição. A bacia foi caracterizada geologicamente em superfície, podendo-se associar as unidades aquíferas mapeadas e, assim, definir a taxa de recarga para cada unidade hidroestratigráfica (Figura 4).

A partir da análise de separação de hidrograma de onze bacias foi determinado que a taxa média anual de recarga para o aquífero Cauê corresponde a 26%. Mourão (2007) estimou que a recarga para o aquífero Cauê está entre 28% a 38%. A heterogeneidade dessa unidade aquífera torna-se evidenciada pelo intervalo mínimo e máximo dessa unidade aquífera.

Quanto às demais unidades aquíferas, foram considerados dois vertedouros representativos para o aquífero Gandarela, resultando em uma taxa média de recarga de 28%. Para o Itacolomi obteve-se uma taxa média de recarga de 15%. No aquífero Moeda, três vertedouros foram utilizados para definir a recarga, resultando em uma média de 18%. Mourão (2007) estimou valores de recarga inferiores a 28% para as unidades aquíferas Moeda e Gandarela.

Figura 4 – Apresenta-se a taxa de recarga obtida para cada unidade aquífera

TAXA PERCENTUAL DE RECARGA: UNIDADES AQUÍFERAS				
AQUÍFEROS	CAUÊ	GANDARELA	MOEDA	ITACOLOMI
Nº BACIAS	11	2	3	1
MÍNIMO	9%	18%	3%	6%
MÉDIO	26%	28%	18%	15%
MÁXIMO	49%	45%	46%	44%

CONCLUSÕES

Após a análise detalhada dos resultados, fica evidente que o estudo de recarga dos aquíferos desempenha um papel fundamental na gestão sustentável dos recursos hídricos da região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. O aquífero Cauê, localizado no flanco oeste do Sinclinal Moeda, apresenta uma taxa média de recarga de cerca de 26%, o que confirma sua relevância como uma fonte significativa de água subterrânea para o abastecimento de Belo Horizonte.

Além disso, as demais unidades aquíferas também foram avaliadas, com taxas de recarga variando de acordo com suas características hidrogeológicas específicas. Esses resultados reforçam a importância de entender a dinâmica de cada aquífero individualmente, a fim de tomar decisões informadas sobre o uso sustentável dessas reservas subterrâneas de água.

O conhecimento adquirido por meio deste estudo tem implicações significativas para a gestão integrada dos recursos hídricos na região. A informação sobre a recarga dos aquíferos é essencial para evitar a superexploração e garantir a disponibilidade contínua de água subterrânea para atender às demandas de abastecimento urbano, atividades agrícolas e industriais, além de proteger a qualidade da água e preservar os ecossistemas associados aos aquíferos.

A compreensão da dinâmica hidrológica desses aquíferos é crucial para o planejamento sustentável do uso da água e para a conservação dos recursos hídricos da região. Uma gestão adequada desse recurso subterrâneo é essencial para evitar a exaustão ou degradação dos aquíferos, garantindo o fornecimento contínuo de água de qualidade para a população e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico da área.

Considerando a importância ambiental e socioeconômica da região do Quadrilátero Ferrífero, a preservação e o uso sustentável dos recursos hídricos são essenciais para manter o equilíbrio do meio ambiente e garantir a disponibilidade de água para as gerações presentes e futuras.

Em suma, este estudo fornece informações valiosas que podem ser aplicadas em políticas de gestão hídrica, estratégias de conservação e desenvolvimento sustentável, visando garantir um futuro próspero e resiliente para a região, onde a disponibilidade de água subterrânea é uma peça-chave para a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

Behling, H., & Lichte, M. (1997). The Holocene vegetation of the Itaparica Dam region (Submédio São Francisco, SE Brazil) and implications for the vegetational history of the Seasonal Forest region. *Journal of Paleolimnology*, 18(1), 25-33.

Dorr, J. V. N. (1969). Carbonate sedimentation and diagenesis in the evolution of the iron-formations (No. 617). Washington: U.S. Govt. Print. Off.

Herz, W. (1978). The climate of Brazil. In *Climates of Central and South America* (pp. 167-223). Elsevier.

Medina, R. S., Esteves, F. A., & Amorim, H. L. F. (2005). Modelação numérica do transporte de sedimentos no sistema hidrográfico do Quadrilátero Ferrífero, MG, utilizando o programa HEC-RAS. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 6(2), 5-14.

Mourão, M.A.A. (2007) Caracterização hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG. 2007. 297p. Tese – UFMG. Belo Horizonte.

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto. 2020. Mapeamento Geológico do Quadrilátero Ferrífero em escala 1:150.000. Universidade Federal de Ouro Preto.

Smakhtin, V. U. (2001). Estimating continuous monthly baseflow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve. *Water SA* Vol. 27 n° 2. ISSN 0378-4738. [10.4314/wsa.v27i2.4995](https://doi.org/10.4314/wsa.v27i2.4995)

AGRADECIMENTOS

Este estudo contém o apoio técnico-científico do IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas) e está vinculado ao projeto “Proposta de uma rede de monitoramento hidrometeorológica a partir de estruturas existentes na região do Quadrilátero Ferrífero tendo como área piloto a região do Sinclinal Moeda, MG” desenvolvido em parceria com o IGC (Instituto de Geociências) da UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Agradeço ao PPGEOL (Programa de Pós Graduação de Geologia) e ao LEHID (Laboratório de Estudos Hidrogeológicos da UFMG), pela participação, apoio e suporte durante todas as etapas envolvidas.