



RESPOSTA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS À SAZONALIDADE EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO CERRADO

¹Rodrigo Ney Millan, ²Lelisberto Baldo Vieira, ³Daniela Fernanda da Silva Fuzzo,

⁴Eduardo da Silva Martins, ⁵Eliana Aparecida Panarelli

¹Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, e-mail: rodrigo.millan@uemg.br; ²Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, e-mail: lelisberto@hotmail.com; ³Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, e-mail: daniela.fuzzo@uemg.br; ⁴Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, e-mail: eduardo.martins@uemg.br; ⁵Universidade do Estado de Minas Gerais, Unidade Frutal, e-mail: eliana.panarelli@uemg.br

*Biodiversidade e Preservação
Resiliência dos ecossistemas naturais frente aos extremos climáticos e uso de Inteligência
Artificial para preservação*

Resumo

Os sedimentos fluviais constituem importantes compartimentos de armazenamento e redistribuição de elementos químicos, refletindo processos hidrológicos e geoquímicos que ocorrem nas bacias hidrográficas. O presente estudo avaliou a influência da sazonalidade sobre a composição química dos sedimentos da bacia do Ribeirão Marimbondo, localizada na região da Serrinha, em Frutal, Minas Gerais. As amostras foram coletadas em três trechos da bacia, com três pontos de amostragem por trecho, durante os períodos seco e chuvoso, utilizando tubo de PVC na profundidade de 0 a 15 cm. Foram determinadas as concentrações de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Os dados foram transformados por $\log(x+1)$, padronizados por escore z e submetidos à PERMANOVA, PERMDISP e Análise de Coordenadas Principais (PCoA). A composição química diferiu significativamente entre os períodos (pseudo-F = 17,70; $R^2 = 0,525$; $p = 0,005$), sem diferenças na dispersão multivariada (PERMDISP, $p = 0,768$). Os dois primeiros eixos da PCoA explicaram 87,96% da variação total. O potássio esteve associado ao período seco, enquanto cálcio e magnésio se associaram ao período chuvoso. Os resultados demonstram que a sazonalidade reorganiza a composição química dos sedimentos, evidenciando seu potencial como indicador de processos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas do Cerrado.

Palavras-chave: Geoquímica ambiental. Processos hidrossedimentológicos. Nutrientes. Rios de primeira ordem. Monitoramento ambiental.

Introdução

Os sedimentos fluviais constituem importantes compartimentos de armazenamento e redistribuição de elementos químicos, integrando os processos físicos e biogeoquímicos que ocorrem ao longo das bacias hidrográficas. Em razão dessa característica, sua composição química representa um importante indicador das condições ambientais e das alterações decorrentes dos processos naturais e das mudanças no uso e ocupação da terra (Owens *et al.*, 2005). Em bacias hidrográficas inseridas no bioma Cerrado, a marcada sazonalidade climática



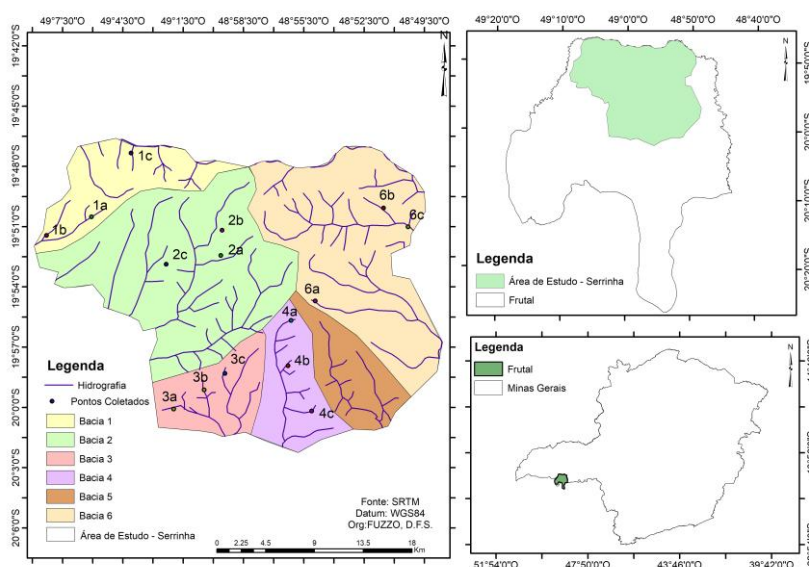
influencia a dinâmica hidrossedimentológica dos cursos d'água, modificando a mobilização, o transporte e a deposição de sedimentos e, consequentemente, sua composição química. Além disso, a expansão das atividades agropecuárias pode alterar a composição química desse compartimento, especialmente em relação aos nutrientes associados ao material transportado pela bacia (Rimá *et al.*, 2022).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da sazonalidade sobre a composição química dos sedimentos superficiais da bacia do Ribeirão Marimbondo, com ênfase nas concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Metodologia

O estudo foi realizado na região da Serrinha, no município de Frutal, Minas Gerais, inserida no domínio fitogeográfico do Cerrado, mais especificamente na bacia do Ribeirão Marimbondo (Bacia 2) (Figura 1). A área apresenta matriz antrópica predominantemente composta por pastagens e cultivos agrícolas, com reduzidos fragmentos florestais.

Figura 1 – Localização da bacia do Ribeirão Marimbondo (Bacia 2), área de estudo, em relação às principais bacias hidrográficas do município de Frutal, Minas Gerais.



Fonte: SRTM, Datum: WGS84, Org: Fuzzo, D.F.S.

As amostras de sedimento foram coletadas em três trechos ao longo da bacia, sendo estabelecidos três pontos de amostragem em cada trecho, durante os períodos seco e chuvoso. Em cada ponto, o sedimento foi amostrado na camada de 0 a 15 cm utilizando um tubo de PVC como amostrador manual. As amostras foram acondicionadas em recipientes devidamente identificados e transportadas ao laboratório.



As amostras de sedimento foram secas a 45 °C por 12 horas, peneiradas (20 mesh) e submetidas à extração química na proporção 1:10 (sedimento:solução). O fósforo (P) e o potássio (K) foram extraídos com solução Mehlich-1, conforme Mehlich (1953), enquanto o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) foram extraídos com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹, seguindo Teixeira *et al.* (2017). O P foi determinado por espectrofotometria UV-Vis, o K por fotometria de chama e o Ca e o Mg por espectrometria de absorção atômica com chama.

As concentrações dos elementos químicos foram transformadas por $\log(x + 1)$, com o objetivo de reduzir a assimetria e minimizar a influência de valores extremos. Em seguida, os dados foram padronizados por escore z, permitindo a comparação entre variáveis expressas em diferentes magnitudes (Legendre; Legendre, 2012). A variação multivariada da composição química foi avaliada por meio da PERMANOVA utilizando distância euclidiana (Anderson, 2001). Foram realizadas 511 permutações restritas por blocos, considerando os pontos amostrais como unidades de restrição das permutações. A homogeneidade das dispersões multivariadas foi verificada por meio da análise PERMDISP (Anderson; Walsh, 2013). A representação gráfica da estrutura multivariada foi realizada por meio da Análise de Coordenadas Principais (PCoA), utilizando a mesma matriz de distâncias empregada na PERMANOVA. Todas as análises estatísticas foram realizadas no ambiente R (R Core Team, 2025), utilizando o pacote *vegan* (Oksanen *et al.*, 2025).

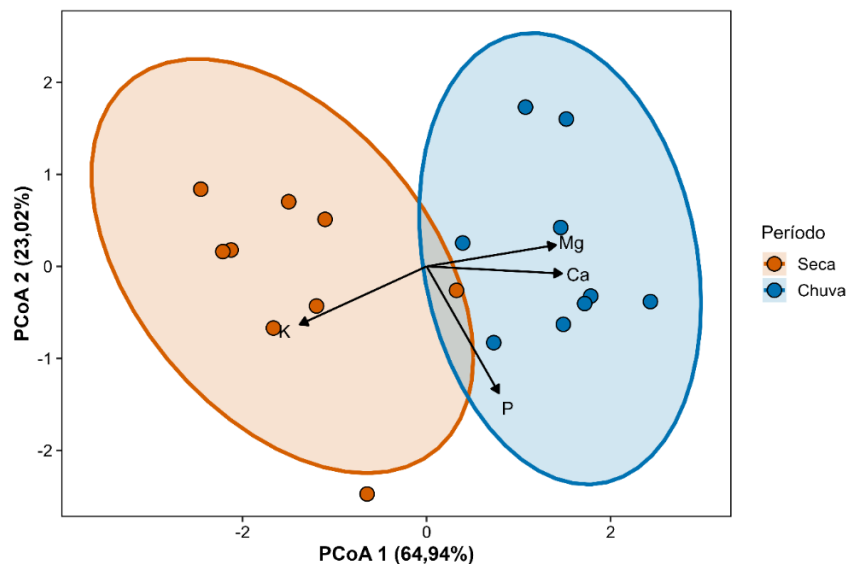
Resultados e Discussão

A composição química dos sedimentos diferiu significativamente entre os períodos seco e chuvoso (PERMANOVA: pseudo-F = 17,70; R² = 0,525; p = 0,005), indicando que a sazonalidade explicou 52,5% da variação conjunta das concentrações de P, K, Ca e Mg. A dispersão multivariada foi semelhante entre os períodos (PERMDISP: F = 0,09; p = 0,768), demonstrando que a diferença observada entre os períodos representa uma alteração na composição química média dos sedimentos e não apenas maior variabilidade entre as amostras. Os dois primeiros eixos da PCoA explicaram 87,96% da variação e evidenciaram separação entre as amostras de seca e chuva (Figura 2). O potássio apresentou associação com o período seco, no qual sua concentração média foi aproximadamente 46% superior à observada na chuva (Tabela 1). Em contraste, cálcio e magnésio estiveram associados às amostras do período chuvoso, com concentrações médias 353,1% e 223,4% superiores às registradas no período seco, respectivamente (Tabela 1). O fósforo apresentou maior associação ao segundo eixo, contribuindo menos para o principal gradiente de diferenciação



entre os períodos. Esses padrões indicam que a sazonalidade modifica conjuntamente a composição química dos sedimentos, possivelmente por alterações no transporte, na deposição e na mobilização dos elementos durante o período chuvoso.

Figura 2 – Análise de Coordenadas Principais da composição química dos sedimentos nos períodos seco e chuvoso na bacia do Ribeirão Marimbondo, Frutal, Minas Gerais. As elipses representam intervalos de confiança de 95%, e as setas indicam as correlações das variáveis químicas com os eixos da ordenação.



Fonte: autoria própria.

Tabela 1 – Valores médios das concentrações de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos períodos seco e chuvoso, variação percentual entre os períodos e associação dos elementos com a ordenação obtida pela Análise de Coordenadas Principais (PCoA).

Variável	Seca	Chuva	Diferença (%)	Associação na PCoA
P	4,52	6,16	+36,3	Eixo secundário
K	23,89	12,89	-46,0	Período seco
Ca	4,80	21,75	+353,1	Período chuvoso
Mg	0,64	2,07	+223,4	Período chuvoso

Fonte: autoria própria.

As diferenças observadas entre os períodos seco e chuvoso indicam que a sazonalidade exerce papel importante na reorganização da composição geoquímica dos sedimentos, refletindo alterações na conectividade hidrológica da bacia e na mobilização de materiais para o canal fluvial. Esse padrão evidencia que os sedimentos constituem compartimentos dinâmicos, capazes de integrar os processos físicos e geoquímicos que atuam ao longo do ciclo hidrológico. No presente estudo, cálcio e magnésio apresentaram maior associação com as amostras do período chuvoso, indicando que a sazonalidade influencia a composição química dos sedimentos. O enriquecimento simultâneo desses elementos é



compatível com o maior aporte de partículas de origem mineral para o canal fluvial durante o período de maior precipitação, refletindo a mobilização e a redistribuição de sedimentos na bacia. Esse comportamento é consistente com Tavares Júnior *et al.* (2021), que observaram diferenças na composição química dos sedimentos de córregos do Cerrado em função de alterações no balanço hidro-sedimentar. Embora a bacia do Ribeirão Marimbondo apresente predominância de uso agrícola, os resultados não permitem atribuir o aumento de cálcio e magnésio exclusivamente às atividades antrópicas, pois esses elementos podem ter origem tanto no intemperismo dos solos quanto em práticas de manejo agrícola.

Embora o fósforo tenha apresentado menor contribuição para a separação entre os períodos, sua elevada variabilidade indica que esse elemento responde a processos distintos daqueles observados para Ca, Mg e K. Nesse contexto, Li *et al.* (2023) demonstraram que sedimentos de córregos podem atuar simultaneamente como reservatórios e fontes de fósforo, alternando entre processos de retenção e liberação em função das condições hidrológicas e das características físico-químicas do sistema. De forma semelhante, Rimá *et al.* (2022) verificaram que a conversão de áreas nativas do Cerrado para uso agrícola promove o enriquecimento de fósforo nos sedimentos fluviais, reforçando o papel dos sedimentos no transporte de nutrientes em bacias hidrográficas.

Em conjunto, esses resultados demonstram que a sazonalidade reorganiza a composição química dos sedimentos do Ribeirão Marimbondo, evidenciando o potencial desse compartimento como indicador dos processos geoquímicos e hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas do Cerrado.

Conclusão

A sazonalidade promove alterações expressivas na composição química dos sedimentos da bacia do Ribeirão Marimbondo, evidenciando que os períodos seco e chuvoso apresentam padrões distintos de distribuição dos elementos avaliados. Observou-se associação do potássio às condições do período seco, enquanto cálcio e magnésio estiveram relacionados ao período chuvoso, refletindo mudanças na dinâmica de transporte, deposição e redistribuição de materiais ao longo do ciclo hidrológico. Esses resultados reforçam a importância da realização de monitoramentos ambientais em diferentes épocas do ano, uma vez que avaliações restritas a um único período podem subestimar a dinâmica temporal da composição química dos sedimentos e comprometer interpretações sobre a qualidade ambiental desses sistemas.



Agradecimentos

Programa de bolsas de Produtividade em Pesquisa (PQ/UEMG) com ênfase em inovação; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG); Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade do Estado de Minas Gerais (PROPPG-UEMG); CAPES/PROAP – Programa de Apoio à Pós-Graduação.

Referências

- ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology**, v. 26, n. 1, p. 32-46, 2001.
- ANDERSON, M. J.; WALSH, D. C. I. PERMANOVA, ANOSIM, and the Mantel test in the face of heterogeneous dispersions: what null hypothesis are you testing? **Ecological Monographs**, Washington, v. 83, n. 4, p. 557-574, 2013.
- LI, S.; ARNSCHEIDT, J.; CASSIDY, R.; DOUGLAS, R. W.; MCGROGAN, H. J.; JORDAN, P. The spatial and temporal dynamics of sediment phosphorus attenuation and release in impacted stream catchments. **Water Research**, Oxford, v. 245, art. 120663, 2023.
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2012.
- MEHLICH, A. **Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH₄**. Raleigh: North Carolina Soil Testing Division, 1953.
- OKSANEN, J.; SIMPSON, G. L.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; SZOECS, E.; WAGNER, H.; BEDWARD, M.; BOLKER, B.; BORCARD, D.; CARVALHO, G.; DE CACERES, M.; DURAND, S.; EVANGELISTA, H. B. A.; HANNIGAN, G.; HILL, M. O.; LAHTI, L.; MARTINO, C.; OUELLETTE, M. H.; RIBEIRO CUNHA, E.; SMITH, T.; STIER, A.; TER BRAAK, C. J. F.; WEEDON, J. **vegan: Community Ecology Package**. R package version 2.7-5, 2025.
- OWENS, P. N.; BATALLA, R. J.; COLLINS, A. J.; GOMEZ, B.; HICKS, D. M.; HOROWITZ, A. J.; KONDOLF, G. M.; MARDEN, M.; PAGE, M. J.; PEACOCK, D. H.; PETTICREW, E. L.; SALOMONS, W.; TRUSTRUM, N. A. Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues. **River Research and Applications**, v. 21, n. 7, p. 693–717, 2005.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 31 jul. 2026.
- RIMÁ, F. B.; SILVA, Y. J. A. B.; TEIXEIRA, M. P. R.; MAIA, A. J.; ASSIS, K. G. O.; SILVA, R. J. A. B.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; SILVA, Y. J. A. B.; LOPES, J. W. B.; BARBOSA, R. S.; SINGH, V. P. Phosphorus in soils and fluvial sediments from a Cerrado biome watershed under agricultural expansion. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, 388, 2022.
- TAVARES JÚNIOR, C.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M.; FIGUEIREDO, Y. A.; ALMEIDA, H. A.; LEITE, M. G. P. Changes in the hydro-sedimentary balance: Impacts of the use of a borrow pit in a low-order stream. **PLOS ONE**, v. 16, n. 8, e0255432, 2021.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.