

## Transporte de Sedimentos e Taxa de Intemperismo na Bacia do Rio Marrecas no Sudoeste do Paraná

*Sediment Transport and Weathering Rate in the Marrecas River Basin in Southwestern Paraná*

*Transporte de Sedimentos y Tasa de Erosión en la Cuenca del Río Marrecas en el Suroeste de Paraná*

Julio Caetano Tomazoni<sup>1</sup>

Elisete Guimarães<sup>2</sup>

Eduardo Caetano Tomazoni<sup>3</sup>

---

**RESUMO:** A Bacia do rio Marrecas situa-se no Terceiro Planalto Paranaense e integra a Bacia do Rio Iguaçu, sendo o rio Marrecas afluente do rio Santana. O clima é mesotérmico superúmido e o relevo é predominantemente ondulado (45,1%) e fortemente ondulado (29,6%). Os solos são majoritariamente Nitossolo Vermelho (52,5%), seguidos de Neossolo Litólico (24,9%) e Latossolo Vermelho (19,7%). Originalmente coberta por Floresta Ombrófila Mista, a bacia é atualmente ocupada por lavouras de soja, pastagens e reflorestamentos, que representam 68,6% e 30,9% da área, respectivamente. O objetivo deste estudo foi quantificar o transporte de sedimentos e o aprofundamento do manto de intemperismo na bacia, avaliando a relação entre erosão mecânica e formação de solo. Para tanto, aplicou-se a metodologia de Tardy (1971), que relaciona dados litológicos, geoquímicos e hidrossedimentológicos, com base em análises físico-químicas da água e composição mineralógica das rochas. Em 2023, registrou-se precipitação anual de 2.614,6 mm, volume escoado de 573.520.608 m<sup>3</sup> e transporte de 9.199,27 toneladas de SiO<sub>2</sub>. A relação SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 5,52 indicou bissialitização com formação de montmorilonita. O aprofundamento do perfil intempérico foi de 0,06615 mm/ano, sendo 0,0368 mm de erosão mecânica e 0,02935 milímetros de ganho líquido de solo, revelando resiliência ambiental e equilíbrio positivo da bacia.

**PALAVRAS-CHAVES:** hidrossedimentologia; manto intempérico; erosão mecânica.

---

<sup>1</sup> Doutorado em Geologia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) no campus de Francisco Beltrão. E-mail: caetano@utfpr.edu.br.

<sup>2</sup> Doutorada em Química Inorgânica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professora Permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) no campus de Francisco Beltrão. E-mail: guimaraes@utfpr.edu.br.

<sup>3</sup> Mestrado em Direito, Universidade Positivo (POSITIVO). E-mail: eduardo\_tomazoni\_9@hotmail.com.

---

**ABSTRACT:** The Marrecas River Basin is located on the Third Paraná Plateau and is part of the Iguaçu River Basin, with the Marrecas River being a tributary of the Santana River. The climate is superhumid mesothermal, and the relief is predominantly undulating (45.1%) and strongly undulating (29.6%). The soils are predominantly Red Nitosol (52.5%), followed by Litholic Neosol (24.9%) and Red Latosol (19.7%). Originally covered by Mixed Ombrophilous Forest, the basin is currently occupied by soybean crops, pastures, and reforestation, representing 68.6% and 30.9% of the area, respectively. The objective of this study was to quantify sediment transport and the deepening of the weathering mantle in the basin, evaluating the relationship between mechanical erosion and soil formation. To this end, the methodology of Tardy (1971) was applied, which relates lithological, geochemical, and hydrosedimentological data, based on physical-chemical analyses of the water and the mineralogical composition of the rocks. In 2023, annual precipitation was 2,614.6 mm, a runoff volume of 573,520,608 m<sup>3</sup>, and transport of 9,199.27 tons of SiO<sub>2</sub> were recorded. The SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio of 5.52 indicated bissialitization with montmorillonite formation. The deepening of the weathering profile was 0.06615 mm/year, with 0.0368 mm of mechanical erosion and 0.02935 mm of net soil gain, revealing environmental resilience and a positive balance of the basin.

**KEYWORDS:** hydrosedimentology; weathering mantle; mechanical erosion.

**RESUMEN:** La cuenca del río Marrecas se ubica en la Tercera Meseta del Paraná y forma parte de la cuenca del río Iguazú, siendo el río Marrecas un afluente del río Santana. El clima es mesotérmico superhúmedo y el relieve es predominantemente ondulado (45,1%) y fuertemente ondulado (29,6%). Los suelos son predominantemente Nitosol Rojo (52,5%), seguido de Neosol Litólico (24,9%) y Latosol Rojo (19,7%). Originalmente cubierta por Bosque Ombrófilo Mixto, la cuenca está actualmente ocupada por cultivos de soja, pasturas y reforestación, representando el 68,6% y el 30,9% del área, respectivamente. El objetivo de este estudio fue cuantificar el transporte de sedimentos y la profundización del manto meteorizado en la cuenca, evaluando la relación entre la erosión mecánica y la formación del suelo. Para ello, se aplicó la metodología de Tardy (1971), que relaciona datos litológicos, geoquímicos e hidrosedimentológicos, basándose en análisis físico-químicos del agua y la composición mineralógica de las rocas. En 2023, se registró una precipitación anual de 2.614,6 mm, un volumen de escorrentía de 573.520.608 m<sup>3</sup> y un transporte de 9.199,27 toneladas de SiO<sub>2</sub>. La relación SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 5,52 indicó bisialitización con formación de montmorillonita. La profundización del perfil de meteorización fue de 0,06615 mm/año, con 0,0368 mm de erosión mecánica y 0,02935 mm de ganancia neta de suelo, lo que revela resiliencia ambiental y un balance positivo de la cuenca.

**PALABRAS-CLAVE:** hidrosedimentología; manto de meteorización; erosión mecánica.

---

## INTRODUÇÃO

No Sudoeste do Paraná, os solos vêm sendo comprometidos pela expansão agrícola e urbana, marcada por uso inadequado e práticas sem manejo adequado, o que favorece processos erosivos hídricos e eólicos. Esses fenômenos integram o ciclo hidrossedimentológico, no qual a erosão remove a camada superficial do solo, rica em matéria orgânica, transportando-a até os cursos hídricos e, em alguns casos, até os oceanos. O solo, resultado da interação entre clima, relevo, organismos e material de origem, é essencial para a vegetação, a produção de alimentos e a regulação hídrica subterrânea (Santos et al., 2018; Silva et al., 2020). No entanto, práticas inadequadas intensificam a erosão, que reduz a fertilidade, aumenta o assoreamento e eleva os custos de produção agrícola (Silva et al., 2020).

O processo erosivo inicia-se com o impacto das gotas de chuva, que desprendem partículas transportadas pelo escoamento. A vegetação natural reduz esse efeito, mas em áreas degradadas sua ausência acelera a erosão. A dinâmica varia conforme a energia da chuva, a declividade, o solo e o manejo, configurando a erodibilidade (Colares *et al.*, 2022). Entre as formas erosivas, a laminar responde por cerca de 500 milhões de toneladas de perdas anuais no Brasil; quando evolui, origina erosão em sulcos e, em estágio severo, erosão em voçorocas (Bertoni; Lombardi Neto, 2018). Esses processos, que também são observados na bacia do rio Marrecas, aumentam a carga de sedimentos nos fluxos hídricos desse ambiente hídrico.

A hidrossedimentologia, nesse contexto, estuda o transporte, a deposição e a erosão de partículas, considerando fluxo, granulometria e características do leito (Carvalho, 2008). Essa área demonstra como processos naturais, intensificados pela ação humana, modificam a qualidade da água e a morfologia fluvial, sobretudo em bacias hidrográficas, sistemas abertos de troca constante de energia e matéria (Hoffmann; Oliveira, 2018).

Além disso, o intemperismo contribui para a formação e transformação dos solos. No Sudoeste do Paraná, o intemperismo físico decorre da fragmentação mecânica das rochas, enquanto o químico, favorecido pelo clima úmido, promove hidrólise, oxidação e dissolução, originando minerais secundários e solos férteis (Bertuol, 2014; Christopherson, 2012). A água atua como solvente e meio de transporte, condicionando tanto a alteração mineralógica quanto a redistribuição de partículas (Spatti Júnior *et al.*, 2014).

Assim, compreender a relação entre intemperismo, erosão e transporte de sedimentos é fundamental para conservar os recursos naturais. Este trabalho busca quantificar fluxos hidrossedimentológicos e analisar o aprofundamento do manto de intemperismo na bacia do Rio Marrecas, aplicando a metodologia de Tardy (1971), que integra geoquímica das rochas, litologia local e análises físico-químicas das águas, visando subsidiar o manejo sustentável da região.

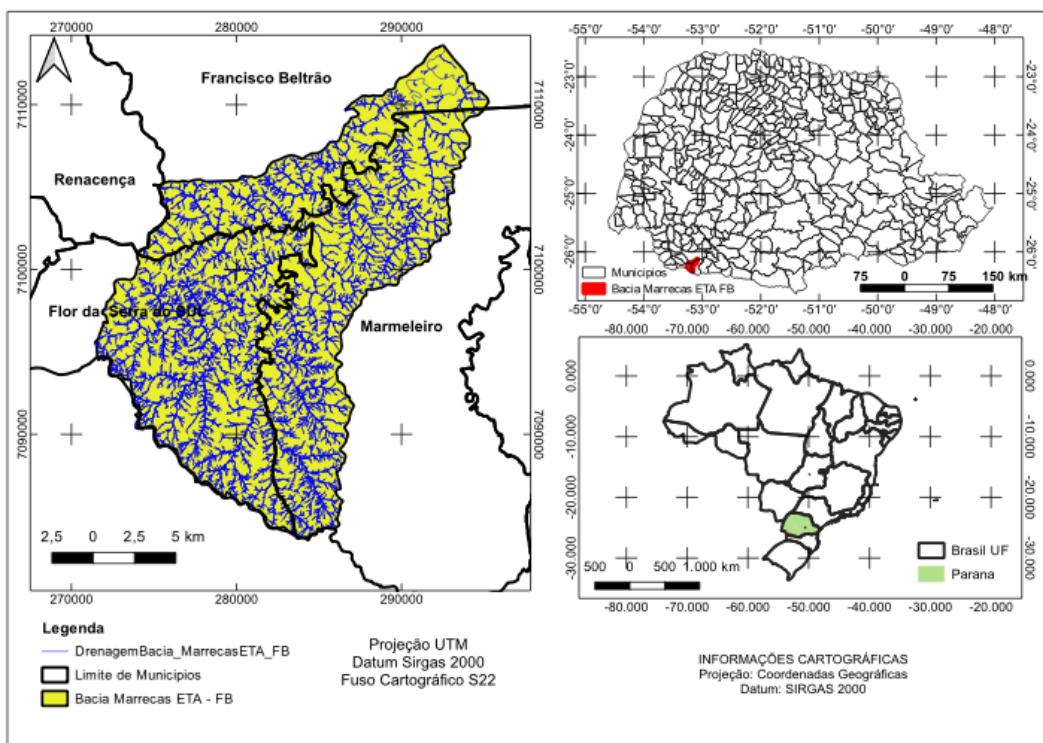
## MATERIAL E MÉTODOS

A BCRM - Bacia de Captação do Rio Marrecas – ETA Francisco Beltrão possui área de 335,4052 quilômetros quadrados e perímetro de 105,2295 quilômetros. Ela abrange parcialmente os municípios de Francisco Beltrão, Marmeleiro e Flor da Serra do Sul, todos no Sudoeste do Estado do Paraná, como mostra a Figura 1.

A descarga de sólidos em suspensão, principal fração da carga sólida fluvial, depende da concentração desses sólidos e da vazão na seção transversal do rio. Para avaliar essa dinâmica, utilizaram-se dados diários de vazão média ( $m^3/s$ ), cota fluviométrica média (m) e sedimentometria provenientes da estação automática ETA Francisco Beltrão (código

65950200), referentes ao ano de 2023. As informações foram obtidas no Sistema de Informações Hidrológicas do Instituto Água e Terra (IAT, 2024).

**Figura 1** – Mapa de localização da BCRM – ETA Francisco Beltrão, no sudoeste do Paraná, Estado do Paraná, e Brasil



**Fonte:** Os próprios autores.

A concentração de sólidos em suspensão foi determinada a partir do relatório de análises laboratoriais, considerando a média (mg/L) de duas amostragens por ponto. Os valores de cota e vazão, registrados diariamente, permitiram a integração entre condições hidrológicas e comportamento sedimentológico, possibilitando correlacionar o fluxo hídrico com a variabilidade temporal dos sólidos em suspensão.

A descarga de sólidos em suspensão representa entre 80% e 90% da carga sólida total transportada pelos rios, podendo atingir até 95% em alguns casos (Carvalho, 2008). Dessa forma, sua quantificação é fundamental para compreender o transporte de sedimentos e seus impactos sobre a qualidade da água e o equilíbrio dos ecossistemas.

O cálculo do transporte de sedimentos em suspensão foi realizado pela equação:

$$T = (C \times Q) \times 10^{-6}$$

Onde:

T = Transporte de sedimentos em toneladas por ano;

C = Concentração de sedimentos em mg/L;

Q = Vazão total anual em m<sup>3</sup>.

A quantificação do intemperismo e do arrasamento superficial da BCRM foi realizada segundo a metodologia de Tardy (1971), que relaciona a composição mineral das rochas originais e os minerais secundários neoformados a partir da interação com a água. Para tanto, foram coletadas amostras de água e rocha na bacia.

A coleta de amostras de água ocorreu em 21 de outubro de 2023, às 9h40min, no ponto UTM 292438 E / 7113684 N, Fuso 22S, próximo à estação da SANEPAR. As amostras foram acondicionadas em dois frascos de 500 mL e um de 350 mL, devidamente identificados, vedados e transportados em caixa isotérmica, sendo encaminhadas no mesmo dia ao LGQ – Laboratório Ltda., em Francisco Beltrão – PR, para análises físico-químicas. Na mesma data, coletou-se um seixo de basalto no ponto UTM 292415 E / 7115544 N, Fuso 22S, em trecho de maior correnteza, destinado a análises litológicas e sedimentares no LAMIR/UFPR, em Curitiba – PR.

As análises físico-químicas da água compreenderam parâmetros como pH, turbidez, alcalinidade, condutividade, dureza total, concentrações de íons maiores ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), nutrientes ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), sílica dissolvida, sólidos totais e alumínio, realizadas conforme *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2017).

A amostra de rocha foi caracterizada por difratometria de raios X (DRX), utilizando difratômetro SHIMADZU XRD-6000 (Cu-K $\alpha$ ,  $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ; 40 kV, 40 mA; varredura de 10°–80°, 2 $\theta$ /min), para identificação mineralógica. A composição química dos óxidos dominantes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e de elementos-traço (Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Rb, Sr, V, Zn, Zr) foi determinada por fluorescência de raios X (XRF), em equipamento PHILIPS PW 2400/00, no LAMIR/UFPR.

O cálculo do aprofundamento do perfil de intemperismo seguiu a classificação de Tardy (1971), que define estágios baseados na relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  e no tipo de minerais neoformados. Os estágios incluem alitização, monosialitização, bissialitização, hemesialitização e monosialitização disfarçada.

As etapas metodológicas foram: (1) determinação da porcentagem em peso e proporção molecular dos óxidos dominantes da bacia; (2) definição da composição normativa dos basaltos; (3) análise da liberação de constituintes via hidrólise de minerais, segundo Bittencourt (1978); e (4) cálculo dos produtos de neoformação a partir da química das águas, considerando a razão  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . O índice Rf, indicador da intensidade de intemperismo, foi obtido pela equação:

$$Rf = \frac{SiO_2}{Al_2O_3} = \frac{6K_2O(Ev) + 6Na_2O(Ev) + CaO(Ev) + MgO(Ev) - SiO_2(Ev)}{K_2O(Lib) + Na_2O(Lib) + CaO(Lib)}$$

O Rf permitiu identificar que tipo de alteração química está ocorrendo na bacia: Alitização ( $Rf < 1$ ) ou, Monosialitização ( $Rf \geq 1 < 2$ ), ou Bissialitização ( $Rf \geq 2$ ).

Conforme Bittencourt (1978), o aprofundamento do perfil intempérico foi estimado pela densidade do basalto de 3 g/cm<sup>3</sup>, equivalente a 3.000 quilos por m<sup>3</sup>. A partir desse valor, determinaram-se as proporções de óxidos e de SiO<sub>2</sub> (total, combinada e livre) e, por meio da proporção molecular dos óxidos, obteve-se a composição normativa teórica dos basaltos da BCRM.

A análise indicou alteração bissialítica, caracterizada pela formação de montmorilonita ( $Na_{0.33}Ca_{0.33}Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$ ). Então, os sólidos em suspensão da BCRM possuem mineralogia: Montmorilonita + água + Óxido (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeOOH, etc).

Para essa composição, calcularam-se as massas de cada constituinte em 1 m<sup>3</sup> de sedimento: 1 mol de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4 mols de SiO<sub>2</sub>, 2 mols de OH<sup>-</sup>, 0,33 mol de Ca e 0,33 mol de Na, n mols de H<sub>2</sub>O não é considerado porque não integra a estrutura cristalina. Sabendo que o quartzo apresenta dissolução de 15%, determinou-se a quantidade de SiO<sub>2</sub> consumida na formação da montmorilonita e, por diferença, a sílica efetivamente evacuada (Bittencourt, 1978).

A seguir, utilizando do volume total de água escoada na bacia em 2023 e a concentração média de SiO<sub>2</sub>, calculou-se a massa de sílica transportada (g, kg ou t). Relacionando esse valor à área da bacia (t/km<sup>2</sup>), aplicou-se a regra de três simples para converter a sílica evacuada em equivalente volumétrico de rocha e, assim, estimar o aprofundamento anual do manto de intemperismo (m ou mm).

O rebaixamento superficial por erosão mecânica foi determinado a partir da carga particulada transportada em 2023 (t/ano ou g/m<sup>2</sup>), considerando-se 15% de quartzo e 85% de montmorilonita. Com base na relação entre sílica evacuada e a massa de montmorilonita, estimou-se a espessura de arrasamento do perfil por ano. Subtraindo-se o valor do arrasamento mecânico do aprofundamento químico do manto intempérico, obteve-se o ganho líquido de solo no perfil da bacia.

Os cálculos e equações correspondentes aos passos adotados encontram-se detalhados no item Resultados e Discussões – Subitem Velocidade de aprofundamento do perfil de alteração das rochas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item, será apresentado uma análise integrada das características físicas, geológicas, pedológicas e hidrológicas da BCRM. A partir de dados climatológicos, fluviométricos e geoquímicos, o estudo busca compreender a dinâmica ambiental da bacia, incluindo o regime de precipitação e vazão, o transporte de sedimentos e os processos de intemperismo das rochas basálticas.

### Características da BCRM

O clima regional, segundo Köppen, é classificado como Cf, mesotérmico superúmido, subdividido em Cfa (subtropical) e Cfb (temperado). Hidrologicamente, o rio Marrecas se forma pela confluência dos rios Araçá e Verde, fluindo no sentido sudoeste–nordeste até o rio Santana, afluente do Chopin e posteriormente do Iguaçu. A bacia apresenta amplitude altimétrica de 391 m, com cotas de 935 m no ponto mais alto e 544 m na ETA de Francisco Beltrão (IAT, 2024).

A geologia, conforme CPRM (2021), reúne a Formação Paranapanema (K1βpr), composta por derrames espessos de basaltos pahoehoe inflados e camadas vulcanoclásticas, e a Formação Pitanga (K1βpi), com derrames delgados de lavas básicas pahoehoe, depósitos vulcanoclásticos e intercalações sedimentares.

Conforme a classificação da Embrapa (Santos *et al.*, 2018), o relevo da área é predominantemente ondulado, com 45,1% da superfície entre 8–20% de declividade, seguido por 29,6% de relevo fortemente ondulado (20–45%), 20,1% de suave ondulado (3–8%), 4,1% de áreas planas (<3%) e 1,1% montanhosas (45–75%), caracterizando um relevo moderadamente dissecado que influencia a drenagem e o uso do solo. Nos levantamentos pedológicos (Santos *et al.*, 2018), predominam Nitossolos Vermelhos distroféricos – NVdf4 (26,4%) e Neossolos Regolíticos eutróficos – RRe9 (24,9%), seguidos por NVdf6 (17,1%), Latossolos Vermelhos distroféricos – LVdf2 (16,6%) e Nitossolos Vermelhos distroféricos - NVdf3 (6,4%), enquanto outras variações de Nitossolos e Neossolos ocorrem em proporções menores.

Originalmente coberta por Floresta Ombrófila Mista Montana, a bacia sofreu intensa alteração antrópica. Segundo o Projeto MapBiomas (2023), 38,6% da área é ocupada por soja, seguida por florestas naturais (23,0%), agricultura e pastagem (22,3%), reflorestamentos (7,9%), pastagens (5,6%) e mosaico de culturas (2,1%). Áreas urbanas, de solo exposto e corpos d’água somam apenas 0,2% cada. Assim, atividades agrícolas e pastoris correspondem a 68,6%, enquanto florestas e reflorestamentos representam 30,9%, evidenciando significativa modificação da paisagem original.

## Determinação da Vazão

A avaliação da precipitação média diária, mensal e total anual da BCRM é fundamental para compreender os padrões climáticos dessa bacia, bem como suas implicações para o meio ambiente, a agricultura e a gestão de recursos hídricos. A precipitação é um dos principais componentes do ciclo hidrológico e desempenha um papel crucial na manutenção do meio ambiente, na disponibilidade de água potável e na produção agrícola. Em 2023, de acordo com dados da Tabela 1, a precipitação em Francisco Beltrão apresentou variação significativa ao longo dos meses.

**Tabela 1** – Precipitação total diária para o ano de 2023 - Estação: Francisco Beltrão Código ANA: 26055305 Município: Francisco Beltrão

Mês	Dias de chuva	Mínima (mm)	Máxima (mm)	Data da Máx.	Média (mm/dia)	Total (mm)
Janeiro	13,0	1,0	93,2	29,0	24,2	315,2
Fevereiro	12,0	0,2	46,6	20,0	13,8	165,2
Março	12,0	0,2	37,6	9,0	11,2	134,6
Abril	7,0	0,2	61,0	6,0	21,9	153,6
Maio	8,0	0,4	44,8	27,0	16,0	128,2
Junho	11,0	0,2	58,8	2,0	11,7	128,8
Julho	8,0	0,2	64,6	10,0	18,3	146,0
Agosto	6,0	0,2	40,2	11,0	14,8	88,6
Setembro	8,0	0,2	16,4	27,0	9,9	189,0
Outubro	12,0	1,4	191,0	28,0	47,8	574,0
Novembro	10,0	0,2	95,6	14,0	38,9	388,8
Dezembro	12,0	0,2	52,0	10,0	16,9	202,6
<b>Total</b>	<b>119,0</b>					<b>2614,6</b>

**Fonte:** Simepar (2023).

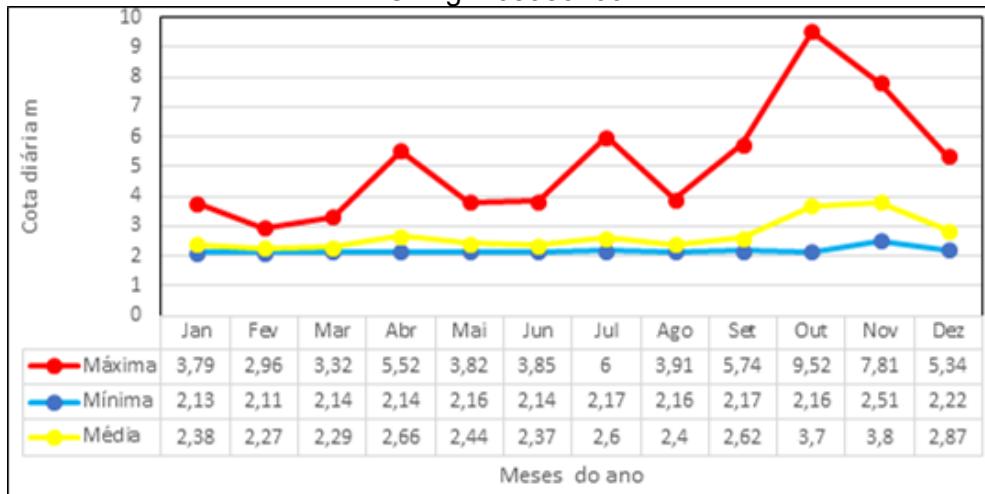
O acumulado anual foi de 2614,6 mm, caracterizando um regime pluviométrico irregular, com concentração expressiva em outubro. Essa é uma precipitação dentro da média para tipos de climas mesotérmico superúmidos (Cfa e Cfb), como os que ocorrem na BCRM (Simepar, 2023).

Na BCRM, as cotas fluviométricas médias diárias, mensais e anuais, medidas pela Estação Automática da ANA/IAT, são fundamentais para o monitoramento hídrico na ETA – Francisco Beltrão (Figura 2).

Essas cotas permitem observar variações rápidas influenciadas por precipitação, desmatamento e uso do solo, em uma região com precipitação anual acima da média dos climas Cfa e Cfb (1.100 a 2.000 mm). Em 2023, a cota máxima registrada foi de 9,52 m em

29/10, a mínima de 2,11 m em 10/02 e a média anual de 2,7 m, dados importantes para prever enchentes ou secas e orientar ações preventivas.

**Figura 2 – Cota fluviométricas médias diárias (m) para o ano de 2023 - ETA - Francisco Beltrão Código: 65950200 – ANA**



**Legenda:** Valores Anuais - Máxima em 29/10/2023: 9,52 m; Média: 2,7 m; Mínima em 10/02/2023: 2,11 m.

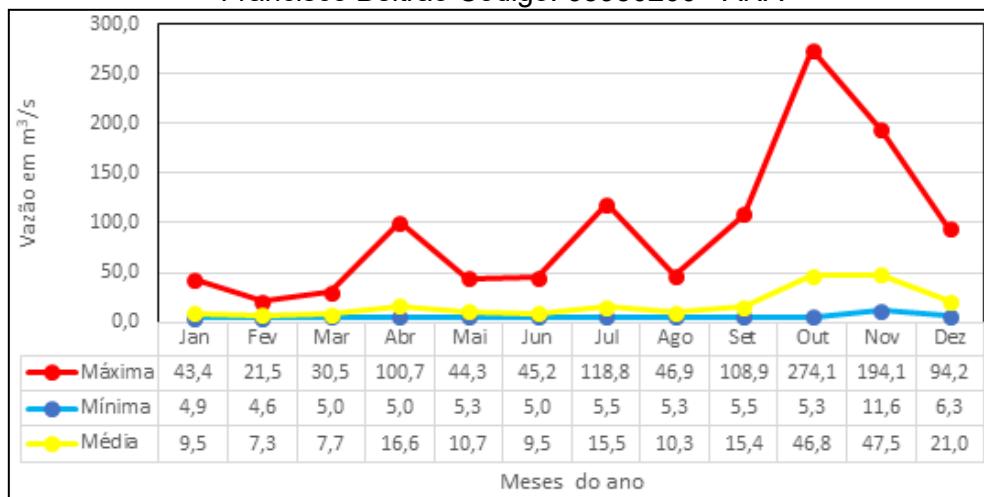
**Fonte:** IAT (2024).

Para a BCRM, a avaliação da vazão média, diária, mensal e anual é um aspecto fundamental para a compreensão da dinâmica dos recursos hídricos nessa bacia. A análise da vazão média diária proporcionou uma visão detalhada das flutuações nos níveis de água durante o ano de 2023, permitindo identificar eventos extremos, como cheias e secas, que ocorreram durante o referido ano. A vazão média mensal ofereceu um panorama mais amplo, permitindo a identificação de padrões sazonais e tendências ao longo do ano. A vazão média e total anual foi essencial para avaliar as mudanças nos estados de tempo e suas consequências sobre a bacia. Os dados de vazões médias diárias para o ano de 2023, para a bacia, constam na Figura 3.

Analizando a Figura 3, em relação às vazões fluviométricas médias diárias ( $m^3/s$ ), a máxima foi de 274,07  $m^3/s$  e ocorreu em 29/10/2023, mês do maior índice de precipitação. A mínima foi de 4,56  $m^3/s$  e ocorreu em 10/02/2023. Já, a vazão média anual foi de 18,19  $m^3/s$ . Isso é um reflexo dos mesmos fatores que condicionaram o comportamento das cotas, já analisados na Figura 2.

A determinação da curva-chave da BCRM, relacionando a cota em m com a vazão em  $m^3/s$ , foi um aspecto fundamental para entender o comportamento dos fluxos hídricos no ano de 2023 nesse corpo hídrico. Essa curva representou a relação entre o nível da água na ETA - Francisco Beltrão e a quantidade de água que fluiu por esse ponto, permitindo uma compreensão mais aprofundada da dinâmica fluvial e a construção da equação de curva-chave dessa parte da bacia. Os dados constam nas Figuras 4 e 5.

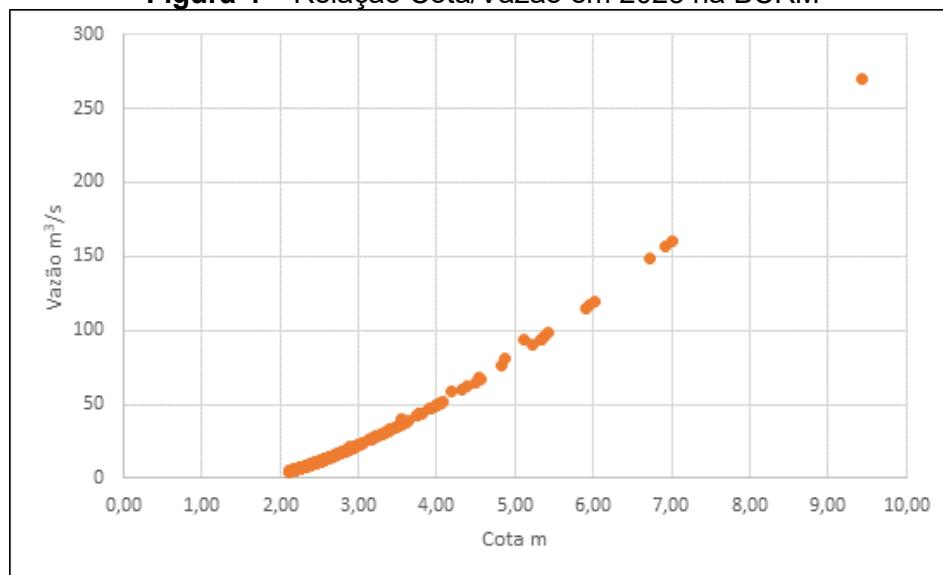
**Figura 3 – Vazões fluviométricas médias diárias ( $m^3/s$ ) para o ano de 2023 - ETA - Francisco Beltrão Código: 65950200 - ANA**



**Legenda:** Valores Anuais - Máxima em 29/10/2023: 274,07 $m^3/s$ ; Média: 18,19  $m^3/s$ ; mínima em 10/02/2023: 4,56  $m^3/s$ .

**Fonte:** IAT (2024).

**Figura 4 – Relação Cota/Vazão em 2023 na BCRM**



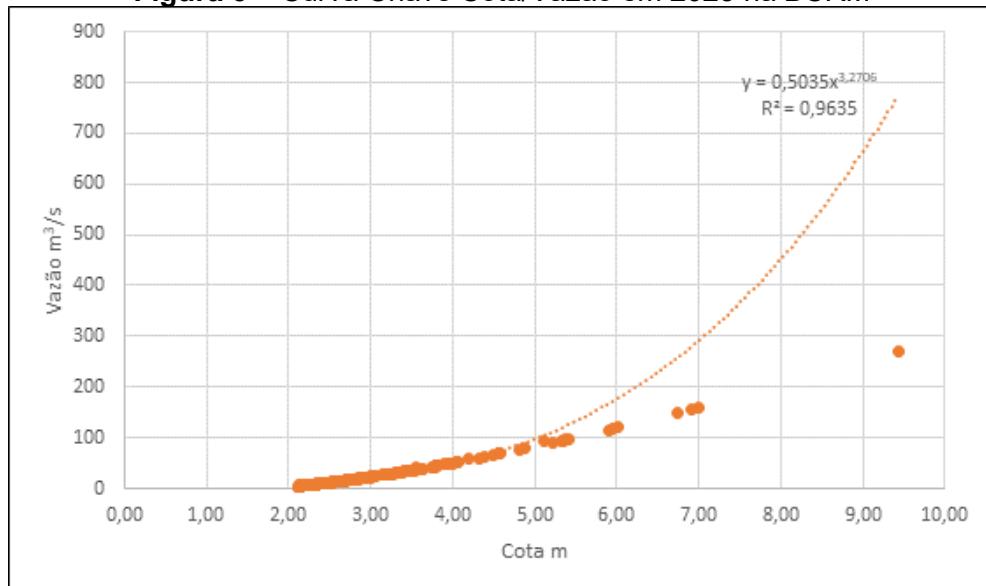
**Fonte:** Os próprios autores.

Determinada a curva-chave na Figura 5 para o ano de 2023, sendo plotada no eixo X a cota em m e no eixo Y a vazão em  $m^3/s$  e adicionada a linha de tendência do tipo potência, a equação gerada foi:  $y = 0,5035x^{3,2706}$ . O Y é a vazão em  $m^3/s$  e o X é a cota. O  $R^2$  para esta curva é 0,9635, que corresponde a um bom ajuste (96,35%), pois está bem próximo de 1, que seria 100% ajustado.

Analizando a Figura 6, em relação às vazões fluviométricas totais diárias ( $m^3/d$ ), a máxima foi de 23.279.616  $m^3$  e ocorreu em 29/10/2023, mês do maior índice de precipitação. A mínima foi de 400.896  $m^3$  e ocorreu em 10/02/2023. Já, a vazão média diária anual foi de

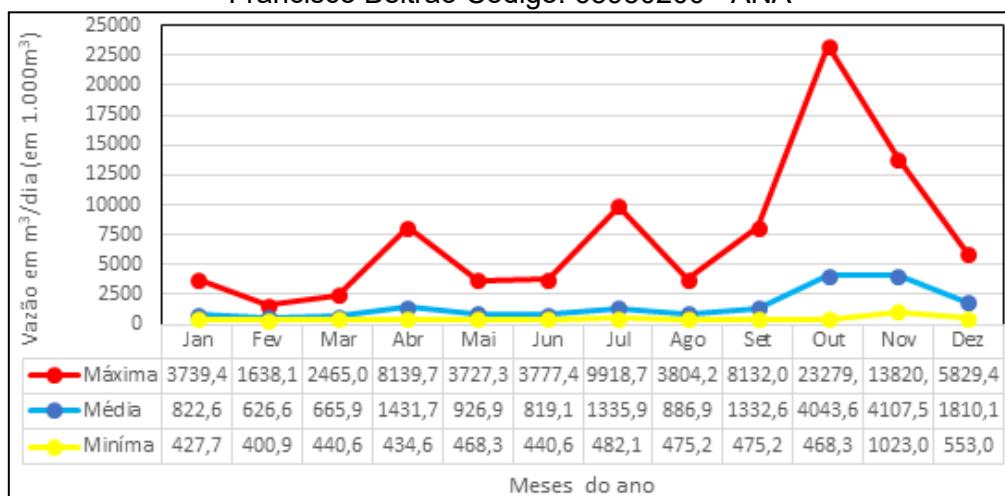
1.571.289 m<sup>3</sup>. Isso é um reflexo dos mesmos fatores que condicionaram o comportamento das cotas já apontadas na Figura 2.

**Figura 5 – Curva Chave Cota/Vazão em 2023 na BCRM**



**Fonte:** Os próprios autores.

**Figura 6 – Vazões fluviométricas totais diárias m<sup>3</sup> (em 1.000 m<sup>3</sup>) para o ano de 2023 - ETA - Francisco Beltrão Código: 65950200 - ANA**



**Legenda:** Máxima em 29/10/2023: 23.279.616 m<sup>3</sup>; Média: 1.571.289 m<sup>3</sup>; Mínima em 10/02/2023: 400.896 m<sup>3</sup>.

**Fonte:** Os próprios autores.

Em 2023, a vazão fluviométrica total da ETA de Francisco Beltrão (código ANA: 65950200) alcançou 573.520.608 m<sup>3</sup>, com forte variabilidade ao longo do ano. Os menores volumes foram registrados em fevereiro (17.545.248 m<sup>3</sup>), março (20.642.688 m<sup>3</sup>) e junho (24.573.888 m<sup>3</sup>), enquanto valores intermediários ocorreram em janeiro (25.499.232 m<sup>3</sup>), maio (28.734.912 m<sup>3</sup>), agosto (27.495.072 m<sup>3</sup>) e setembro (39.977.280 m<sup>3</sup>). Houve elevação

significativa em abril ( $42.951.168\text{ m}^3$ ) e julho ( $41.413.248\text{ m}^3$ ), mas os maiores picos concentraram-se no último trimestre, com destaque para outubro ( $125.350.848\text{ m}^3$ ) e novembro ( $123.225.408\text{ m}^3$ ), que juntos representaram mais de 43% do total anual, seguidos por dezembro ( $56.111.616\text{ m}^3$ ). Esses dados evidenciam que mais da metade do volume anual ocorreu entre outubro e dezembro, caracterizando forte concentração sazonal das vazões (IAT, 2024).

## Transporte de Sedimentos

Na BCRM, o transporte de sedimentos é essencial para a gestão dos recursos hídricos, pois influencia a qualidade da água, a morfologia do leito e a biodiversidade. Em uma região de forte atividade agropecuária, compreender essa dinâmica é ainda mais relevante. Para a avaliação, utilizou-se o relatório laboratorial ETA – Francisco Beltrão (IAT), apresentado na Tabela 2, que permitiu estimar o fluxo médio de sedimentos transportados em 2023.

**Tabela 2** – Relatório de Análise Laboratorial ETA - Francisco Beltrão Código: 65950200 - ANA

Data da Campanha		06/02/2023
Cota	M	2,19
Vazão	$\text{m}^3/\text{s}$	2,785
Chuva nas últimas 48 horas		Sim
Condição do tempo		Bom
Condutividade Elétrica Específica	$\mu\text{S}/\text{cm a } 25^\circ\text{C}$	63,2
Sólidos dissolvidos Totais	$\text{mg}/\text{L}$	86
Sólidos suspensos totais	$\text{mg}/\text{L}$	10,5
Sólidos Totais	$\text{mg}/\text{L}$	-
Temperatura do ar	$^\circ\text{C}$	26
Temperatura água	$^\circ\text{C}$	23
Turbidez	N.T.U.	28

**Fonte:** IAT (2024).

O volume total de água escoado na BCRM no ano de 2023 foi de  $573.520.608\text{ m}^3$ , ou  $573.520.608,00\text{ L}$ . No período, a média de sólidos suspensos totais foi de  $10,5\text{ mg/L}$ ; isso corresponde a 6.021,97 toneladas de material particulado transportado no ano de 2023 ou  $17,9544\text{ g/m}^2$ .

## Velocidade de Aprofundamento do Perfil de Alteração das Rochas

Para se chegar à velocidade de aprofundamento do perfil de alteração das rochas na BCRM, inicialmente determinou-se a percentagem em peso e proporção molecular dos óxidos dominantes no basalto da mesma, conforme demonstra na Tabela 3.

**Tabela 3 – Porcentagem em peso e proporção molecular dos óxidos dominantes no basalto da BCRM**

Óxido	% em peso	peso mol	propor. mol.
SiO <sub>2</sub> (Sílica)	da g/100g	49,31	60,084
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de Al)	13,15	101,961	X 12,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de Fe)	15,12	159,687	9,47
MgO (Óxido de Mg)	4,70	40,304	11,66
CaO (Óxido de Ca)	8,46	56,077	15,09
Na <sub>2</sub> O (Óxido de Na)	2,25	61,979	3,63
K <sub>2</sub> O (Óxido de K)	1,13	94,195	1,20

**Fonte:** Os próprios autores.

O segundo passo foi determinar a proporção molecular dos óxidos distribuídos nos minerais fundamentais, representando uma composição normativa teórica dos basaltos da BCRM, conforme Tabela 4.

**Tabela 4 – Proporção molecular dos óxidos distribuídos nos minerais fundamentais, representando uma composição normativa teórica dos basaltos da BCRM**

Minerais fundamentais	*Proporção molecular do óxido (mols)
Ortoclásio	K <sub>2</sub> O · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 6SiO <sub>2</sub>
Albita	Na <sub>2</sub> O · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 6SiO <sub>2</sub>
Anortita	CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub>
Wolastonita	CaO · SiO <sub>2</sub>
Enstatita	MgO · SiO <sub>2</sub>
Ferrolusilita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · SiO <sub>2</sub>

**Legenda:** \*proporção molecular do óxido dominante x e os demais componentes do mineral.

**Fonte:** Os próprios autores.

Segundo **Bittencourt (1978)**, o processo de **hidrólise** dos minerais feldspatos, da wolastonita e da enstatita promove a liberação de seus constituintes químicos, mantendo as proporções moleculares presentes na estrutura cristalina de cada mineral.

Os minerais e suas respectivas fórmulas são: **Ortoclásio**: K<sub>2</sub>O · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6SiO<sub>2</sub>; **Albita**: Na<sub>2</sub>O · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 6SiO<sub>2</sub>; **Anortita**: CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2SiO<sub>2</sub>; **Wolastonita**: CaO · SiO<sub>2</sub>; **Enstatita**: MgO · SiO<sub>2</sub> e **Ferrolusita**: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · SiO<sub>2</sub>.

No caso da anortita, a hidrólise libera: 8,07 mols de CaO; 8,07 mols de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 16,13 mols de 2SiO<sub>2</sub>

Para a wolastonita, o processo resulta em: 7,02 mols de CaO e 7,02 mols de SiO<sub>2</sub>

A soma dos constituintes liberados por esses minerais totaliza: 15,09 mols de CaO; 8,07 mols de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; e 23,15 mols de SiO<sub>2</sub>

Esse balanço evidencia a proporção quantitativa dos óxidos resultantes da alteração mineral.

O Ca é liberado da Anortita e da Wolastonita, conforme demonstrado a seguir:

$$x = \sum \frac{SiO_2}{CaO} = 1,53$$

$$x = \sum \frac{Al_2O_3}{CaO} = 0,53$$

A hidrólise dos feldspatos resulta na liberação de seus constituintes em proporções moleculares fixas, correspondentes às relações existentes nos cristais originais. Essas proporções são determinadas a partir do número de moléculas liberadas de cada óxido. As relações de liberação estão representadas da seguinte forma: **Sílica em função dos óxidos alcalinos e alcalino-terrosos:**  $SiO_2(\text{lib}) = 6K_2O(\text{lib})$ ;  $SiO_2(\text{lib}) = 6Na_2O(\text{lib})$ ;  $SiO_2(\text{lib}) = 1,53CaO(\text{lib})$ ; e  $SiO_2(\text{lib}) = MgO(\text{lib})$ ;

**Alumina em função dos óxidos:**  $Al_2O_3(\text{lib}) = K_2O(\text{lib})$ ;  $Al_2O_3(\text{lib}) = Na_2O(\text{lib})$  e  $Al_2O_3(\text{lib}) = 0,53CaO(\text{lib})$

Em uma mistura com três feldspatos o número total de moléculas de sílica liberadas é dado pela fórmula:

$$\frac{SiO_2(\text{Lib})}{Al_2O_3(\text{Lib})} = \frac{6K_2O(\text{Lib}) + 6Na_2O(\text{Lib}) + 1,53CaO(\text{Lib})}{K_2O(\text{Lib}) + 6Na_2O(\text{Lib}) + 0,53CaO(\text{Lib})}$$

Durante o intemperismo dos minerais primários, os cátions  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  apresentam alta mobilidade geoquímica, sendo rapidamente removidos pelas águas de percolação após a hidrólise dos silicatos, mantendo o balanço:  $Na_2O(\text{ev}) = Na_2O(\text{lib})$ ;  $K_2O(\text{ev}) = K_2O(\text{lib})$ ;  $CaO(\text{ev}) = CaO(\text{lib})$ ;  $MgO(\text{ev}) = MgO(\text{lib})$ . Em contraste, a alumina ( $Al_2O_3$ ) possui baixa solubilidade, permanecendo retida nos produtos residuais de intemperismo, como argilas e óxidos secundários, conforme  $Al_2O_3(\text{lib}) = Al_2O_3(\text{fix})$ .

A sílica tem comportamento intermediário.  $SiO_2(\text{lib}) = SiO_2(\text{fix}) + SiO_2(\text{ev})$ .  $SiO_2(\text{fix}) = 6K_2O(\text{ev}) + 6Na_2O(\text{ev}) + 1,53 CaO(\text{ev}) + MgO(\text{ev}) - SiO_2(\text{ev})$ .

Em produtos em fase de neoformação, nas alterações a relação  $SiO_2/Al_2O_3$  pode ser calculada a partir do conhecimento químico das águas subterrâneas, superficiais e fontes. A composição química média das águas da BCRM, consta na Tabela 5.

**Tabela 5 – Composição química média das águas da BCRM**

Espécie diss.	Conc. (mg/L)	Óxido	Conc. (mg/L)	Prop. Mol. (%)
$Na^+$	1,00	$Na_2O$	1,35	2,17
$K^+$	0,9	$K_2O$	1,08	1,15
$Ca^{2+}$	7,62	$CaO$	10,66	19,02
$Mg^{2+}$	12,49	$MgO$	20,71	51,98
$SiO_2$	16,04	$SiO_2$	16,04	26,69

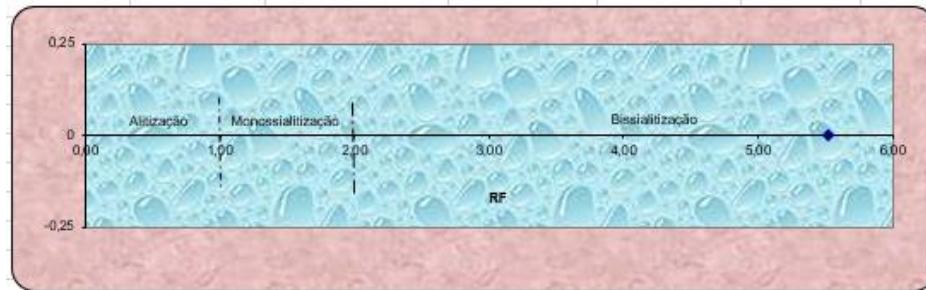
**Fonte:** Os próprios autores.

$$Rf = \frac{SiO_2}{Al_2O_3} = \frac{6K_2O(Ev) + 6Na_2O(Ev) + 1,53CaO(Ev) + MgO(Ev) - SiO_2(Ev)}{K_2O(Lib) + Na_2O(Lib) + 0,53CaO(Lib)}$$

$$Rf = \frac{SiO_2}{Al_2O_3} = \frac{74,43}{13,49} = 5,52$$

O caso se enquadra como alteração: Bissialitização, vide Figura 7.

**Figura 7 – Rf Produto da Relação SiO<sub>2</sub> /Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em 2023 na BCRM**



**Fonte:** Os próprios autores.

#### Aprofundamento do Perfil

O Basalto tem densidade 3, de modo que 1 m<sup>3</sup> de rocha basáltica equivale a 1.000kg X 3= 3.000 kg. Observa-se a proporção dos componentes da rocha basáltica em 1 m<sup>3</sup>, nas Tabelas 6 e 7.

**Tabela 6 – Proporção de óxido e SiO<sub>2</sub> em peso em 1 m<sup>3</sup> de rocha da BCRM**

Óxido	% e m peso	Qtde Kg/m <sup>3</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,15	394,50
MgO	4,70	141,00
CaO	8,46	253,80
Na <sub>2</sub> O	2,25	67,50
K <sub>2</sub> O	1,13	33,90
<b>Total óxido</b>		<b>890,70</b>
SiO <sub>2</sub>	49,31	1479,30
<b>Total geral</b>		<b>2370,00</b>

**Fonte:** Os próprios autores.

**Tabela 7 – Sílica em rocha e Sílica combinada na BCRM**

Discriminação	(%) peso em 3000kg	Quantidade em 1 m <sup>3</sup> (kg)
Sílica combinada	44,02	1320,58
Sílica livre	5,29	158,72
Total Sílica em rocha	49,31	1479,30

**Fonte:** Os próprios autores.

A proporção molecular dos óxidos distribuídos nos minerais fundamentais, representando uma composição normativa teórica dos basaltos da BCRM, pode ser visualizada na Tabela 4.

Avaliando os dados da Tabela 6, existe 49,31% de sílica em rocha - 44,02% combinada = 5,29% de sílica livre. Em cada m<sup>3</sup> de rocha existe 1320,58 kg de SiO<sub>2</sub>.combinada e 158,72 Kg de SiO<sub>2</sub> livre.

Sólidos em suspensão possuem mineralogia: Montmorilonita + água + Óxido (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeOOH, etc).

O referido caso se enquadra como alteração bissialítica, pois a formação da Montmorilonita é: Na<sub>0,33</sub>Ca<sub>0,33</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O.

Isso equivale: 1 mol de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4 mols de SiO<sub>2</sub>; 2 mols de OH; n mols de H<sub>2</sub>O, onde n pode variar; 0,33 mol de Ca e 0,33 mol de Na.

Alteração química: durante a bissialitização, os minerais primários, como piroxênios e feldspatos, são alterados por processos de intemperismo, resultando na liberação de íons como sódio, cálcio e alumínio.

A formação da Montmorilonita ocorre a partir da reação desses íons com a sílica dissolvida, resultando na precipitação de argilas. A estrutura da montmorilonita é caracterizada por uma alta capacidade de troca catiônica e uma grande área superficial, que a tornam um mineral importante em várias aplicações.

Durante o processo de bissialitização, as rochas basálticas são alteradas em ambientes úmidos e quentes, o que resulta na formação de montmorilonita e outros minerais argilosos. A montmorilonita é um dos principais argilominerais encontrados nos sedimentos resultantes da bissialitização de rochas basálticas. Vide cálculos de proporção entre óxidos e elementos formadores de montmorilonita, no Quadro 1.

**Quadro 1 – Cálculos de Proporção entre Óxidos e Elementos Formadores de Montmorilonita**

Reação/Relação Estequiométrica	Dados e Conversões	Resultados (Kg)
1. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> → SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 394,50 Kg = 14,116 mols 1 mol Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> → 4 mols SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 101,95 g/mol (2Al = 53,98 + 3O = 47,99 = 101,95) SiO <sub>2</sub> = 240,33 g/mol (Si = 28,086 + 2O = 31,998 = 60,084 × 4 = 240,33)	14,116 mol Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> → 82,07 mols SiO <sub>2</sub> = 929,89 Kg SiO <sub>2</sub>
2. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> → HO	HO = 17,007 g/mol × 2 = 34,014 g/mol	1 mol Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> → 2 mols HO 131,60 Kg HO
3. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> → Ca	Ca = 0,33 × 40,078 = 13,225 g/mol	1 mol Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> → 0,33 mol Ca 51,17 Kg Ca
4. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> → Na	Na = 0,33 × 22,99 = 7,58 g/mol	1 mol Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> → 0,33 mol Na 29,33 Kg Na

**Fonte:** Os próprios autores.

Essas substâncias formam um total de 1536,49 Kg de Montmorilonita, conforme os dados da Tabela 8.

**Tabela 8 – Cálculo da Massa Total de Montmorilonita Formada**

<b>Componente</b>	<b>Massa (Kg)</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	394,50
SiO <sub>2</sub> (combinada)	929,89
HO	131,60
Ca	51,17
Na	29,33
Total estimado de Montmorilonita formada	1.536,49

**Fonte:** Os próprios autores.

**Quadro 2 – Cálculo do Quartzo em Dissolução e SiO<sub>2</sub> Livre**

<b>Etapa</b>	<b>Cálculo</b>	<b>Resultado</b>
Quartzo em dissolução de 15%	3.000 Kg → 100% X → 5,29% de SiO <sub>2</sub> livre	158,70 Kg SiO <sub>2</sub> livre/m <sup>3</sup>
SiO <sub>2</sub> liberada	158,70 Kg → 100% X → 15%	23,80 Kg SiO <sub>2</sub> liberada
SiO <sub>2</sub> total liberada	SiO <sub>2</sub> combinada (1.320,58 Kg) + SiO <sub>2</sub> liberada (23,81 Kg)	1.344,39 Kg/m <sup>3</sup>

**Fonte:** Os próprios autores.

O Quadro 2 apresenta o Quartzo em dissolução de 15%. Durante o intemperismo e a formação de minerais secundários, parte da sílica liberada é incorporada à montmorilonita. O balanço de massa mostra que a sílica total liberada (SiO<sub>2</sub> lib) é de 1.344,39 kg, sendo 929,89 kg consumidos na neoformação da montmorilonita e 414,50 kg evacuados pelas soluções percolantes. Assim, cerca de 69% da sílica mobilizada é retida nos filossilicatos expansivos e 31% removida, indicando fixação parcial e lixiviação controlada sob condições moderadamente ácidas.

O volume total de água escoado na BCRM no ano de 2023 foi de 573.520.608 m<sup>3</sup>, ou 573520608000L no período e o total de SiO<sub>2</sub>, (média de 16,04mg/l) transportado foi de 9199270552,32 g, 9199270,55 kg ou 9199,27 toneladas, correspondendo a 27,42 tonelada/km<sup>2</sup>.

Com base no volume de sílica evacuada, estimou-se o rebaixamento do manto de intemperismo. Considerando que 414,50 kg de SiO<sub>2</sub> equivalem a 1 m<sup>3</sup> de material e uma produtividade específica de 27,42 t/km<sup>2</sup>, obteve-se 0,06615 m<sup>3</sup> de SiO<sub>2</sub> evacuado por unidade de área, ou 66,15 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>. Convertendo esse volume para espessura superficial em 1.000.000 m<sup>2</sup> (1 km<sup>2</sup>), o aprofundamento médio do manto é de 0,00006615 m, ou 0,06615 mm, indicando a espessura teórica de material removido pela dissolução e exportação da sílica.

### **Rebaixamento Superficial por Erosão Mecânica**

A BCRM libera 6021,97 toneladas de material. Particulado por ano ou 17,9544 g/m<sup>2</sup>. Das 17,9544 g, 2,69 g/m<sup>2</sup> é quartzo (15% do material particulado) e 15,26 g/m<sup>2</sup> Montmorilonita.

414496,11 g SiO<sub>2</sub> evacuada 1m<sup>3</sup>

15,26 g/m<sup>2</sup> X X= 0,0000368 m ou 0,0368mm/ano de arrasamento do perfil por erosão mecânica.

0,06615 mm aprofundamento do perfil - 0,0368 mm arrasamento = 0,02935 mm de aprofundamento do perfil na bacia no período de 2023.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS E CONCLUSÕES

Neste estudo, foram realizadas cinco campanhas de campo — coleta de água, rochas, solos, uso do solo e verificação da estação automática da ETA – Francisco Beltrão (Código: 65950200 – ANA). Em 2023, o volume anual escoado foi de 573.520.608 m<sup>3</sup>, com vazão média diária de 18,19 m<sup>3</sup>/s e máxima de 274,07 m<sup>3</sup>/s em 29/10/2023. A sílica total transportada atingiu 9.199,27 t (16,04 mg·L<sup>-1</sup>; 27,42 t·km<sup>-2</sup>·ano<sup>-1</sup>) e o material particulado 6.021,97 t·ano<sup>-1</sup> (17,95 g·m<sup>-2</sup>·ano<sup>-1</sup>), composto por 15% de quartzo e 85% de montmorilonita. O aprofundamento químico foi de 0,06615 mm·ano<sup>-1</sup> e o mecânico de 0,0368 mm·ano<sup>-1</sup>, resultando em ganho líquido de 0,02935 mm·ano<sup>-1</sup>, indicando que a formação de solo supera as perdas erosivas. O uso do solo é agrícola/pastagem (68,6%) e florestal/reforestamento (30,9%), sob precipitação de 2.614,6 mm, com pico de 574 mm em outubro. A produtividade sedimentar é moderada a baixa, mas superior à de bacias conservadas, coerente com o uso agrícola. A alta proporção de montmorilonita reflete o intemperismo de basaltos e o transporte de argilas finas. Chuvas intensas, especialmente em outubro, controlam os pulsos erosivos e o transporte sedimentar. O balanço geomorfológico positivo (0,02935 mm·ano<sup>-1</sup>) demonstra pedogênese ativa, embora o transporte de 6.021,97 t·ano<sup>-1</sup> represente riscos à qualidade da água e aos serviços ecossistêmicos.

A análise da BCRM indica um ambiente complexo, com clima mesotérmico superúmido (Cfa e Cfb) e hidrologia formada pelos Rios Araçá e Verde, desaguando no rio Santana e depois no rio Iguaçu. Situada no Terceiro Planalto Paranaense, a bacia possui geologia de basaltos do Grupo São Bento e relevo acentuado, predominantemente ondulado e forte ondulado. O solo é majoritariamente Nitossolo Vermelho e Neossolo Litólico, refletindo boa fertilidade. Entretanto, o uso do solo é intensamente agrícola (68,6%) com apenas 30,9% de áreas florestais, evidenciando impactos humanos e a necessidade de manejo sustentável para conservar biodiversidade e recursos hídricos.

Os dados hidrológicos de 2023 mostraram uma precipitação média mensal de 217,9 mm, totalizando 2.614,6 mm no ano, com variações significativas que impactam as cotas fluviométricas. A cota máxima de 9,52 m foi registrada em 29/10/2023 e coincide com o mês de maior precipitação, evidenciando a influência das condições climáticas nas dinâmicas

hídricas da bacia. A vazão média diária anual foi de 18,19 m<sup>3</sup>/s, com a máxima de 274,07 m<sup>3</sup>/s também ocorrendo no mês de outubro.

A análise do intemperismo na BCRM revela um processo significativo de alteração bissialítica, evidenciado pela relação SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 5,52, que indica a formação de Montmorilonita a partir da hidrólise de minerais primários, como feldspatos e piroxênios. Com base nos dados obtidos, a composição de 1 m<sup>3</sup> de rocha apresenta 1.479,30 kg de SiO<sub>2</sub>, dos quais 414,50 kg são evacuados durante o processo de intemperismo.

Em 2023, o volume total de água escoado foi de 573.520.608 m<sup>3</sup>, transportando 9.199,27 toneladas de SiO<sub>2</sub>, o que equivale a 27,42 toneladas/km<sup>2</sup>. O aprofundamento do perfil de alteração foi calculado em 0,06615 mm, enquanto a erosão mecânica resultou em um rebaixamento de 0,0368 mm. A diferença entre esses valores de 0,02935 mm indica que a formação de solo está superando a erosão, sugerindo um equilíbrio positivo na dinâmica do solo da bacia.

Esses resultados enfatizam a importância do intemperismo na formação do solo e a necessidade de práticas de manejo sustentável para preservar esse processo natural. O monitoramento contínuo das condições da bacia é essencial para mitigar os impactos das atividades humanas e garantir a saúde do meio ambiente local. Assim, a BCRM demonstra um potencial significativo para a formação de solo, o que é fundamental para a sustentabilidade ambiental da região.

## REFERÊNCIAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, D.C.: APHA: AWWA: WEF, 2017.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2018.

BERTUOL, Elizandra Carla. **Estágio de intemperismo da cobertura superficial na superfície geomorfológica V (Clevelândia/PR)** - Planalto das Araucárias. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2014. Disponível em:  
[https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1124/1/ELIZANDRA\\_BERTUOL.pdf](https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1124/1/ELIZANDRA_BERTUOL.pdf). Acesso em: 5 fev. 2025.

BITTENCOURT, Andre Virmond Lima. **Sólidos hidrotransportados na bacia hidrográfica do Rio Ivaí**: aplicação de balanços hidrogeoquímicos na compreensão dos processos da dinâmica externa. 1978. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44131/tde-15072015-160924/>. Acesso em: 5 fev. 2025.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Inter ciência, 2008.

CHRISTOPHERSON, Robert W. **Geossistemas** – uma introdução à geografia física. Porto Alegre: Bookman, 2012.

COLARES, Isabela Soares; FERREIRA JUNIOR, João Carlos; RODRIGUES, Liange de Sousa; MAIA, Samara Aquino; WACHHOLZ, Flávio. Suscetibilidade do solo à erosão na bacia hidrográfica do Rio Tarumã-Açu (Amazonas–Brasil). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 23, n. 89, p. 367-389, out. 2022.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Paraná**. Escala 1:600.000. 2021. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/22492>. Acesso em: 5 fev. 2025.

HOFFMANN, Tereza Cristina Polato; OLIVEIRA, Fabiano Antonio de. Influência do uso da terra em áreas rurais e urbanas na produção e transporte de sedimentos em suspensão e turbidez na Bacia do Rio Capivari, Lapa-Pr. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 821-836, 2018.

IAT – INSTITUTO ÁGUA E TERRA. **Monitoramento** – sistemas de informações hidrológica. Curitiba: IAT, 2024. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>. Acesso em: 15 dez. 2024.

MAPBIOMAS. **Coleção 9 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil**. São Paulo: MapBiomias, 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/downloads/>. Acesso: 10 fev. 2025.

SANTOS, Humberto Goncalves dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1094003>. Acesso em: 5 fev. 2025.

SILVA, Michelangelo de Oliveira; VELOSO, Cássio Laurentino; NASCIMENTO, Denisson Lima do, OLIVEIRA, Jailson de, PEREIRA, Dalbert de Freitas, COSTA, Kleyton Danilo da Silva. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, jul. 2020.

SIMEPAR – SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ. **Precipitação diária total** – Estação: Francisco Beltrão. Código ANA: 26055305. Intervalo: 01 jan. 2023 a 31 dez. 2023. Curitiba: SIMEPAR, 2023.

SPATTI JÚNIOR, Eder Paulo; CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazini; GUEDES JUNIOR, Edvaldo; PINTO, Sergio dos Anjos Ferreira; PEREIRA, Luiz Henrique. Balanço entre intemperismo químico e remoção do solo na bacia do Ribeirão Monjolo Grande, Ipeúna (SP), determinado por geoquímica fluvial. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 137-152, jan./mar. 2014.

TARDY, Yves. Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 7, n. 4, p. 253-271, June 1971. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541\(71\)90011-8](http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541(71)90011-8).

**Recebido:** setembro de 2025.  
**Aceito:** novembro de 2025.