

INFLUÊNCIAS ANTROPOGÊNICAS NAS TAXAS DE DENUDAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA NA BACIA DO RIO DAS ARARAS, ARARAS (SP)

ANTHROPOGENIC INFLUENCES ON CHEMICAL AND PHYSICAL DENUDATION RATES IN THE ARARAS RIVER BASIN, ARARAS (SP)

Fabiano Tomazini CONCEIÇÃO, Paulo Eduardo TOSSINI, Alexandre Martins FERNANDES, Rafael Francisco HARTUNG

Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento. Avenida 24-A, 1515 - Rio Claro – SP. E-mail: fabiano.tomazini@unesp.br; paulotossini@gmail.com; alefernandes1966@yahoo.com.br; rafael.hartung@unesp.br

Introdução
Área de estudos
Materiais e métodos
Amostragem
Técnicas analíticas
Avaliação das taxas de denudação química e física
Resultados e discussão
Águas fluviais e pluviais
Taxas de denudação química e física
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Avaliações das taxas de denudação química e física associadas ao intemperismo químico e remoção de solos, respectivamente, vêm sendo realizadas em bacias hidrográficas por todo o mundo. Contudo, poucos trabalhos abordam os impactos das atividades humanas na evolução de relevo. O presente trabalho estimou as taxas de denudação química e física, a partir dos fluxos de sólidos totais dissolvidos (STD) e em sólidos totais em suspensão (STS), em cinco pontos de amostragem ao longo da bacia do Rio das Araras, interior do estado de São Paulo. Os valores de pH foram próximos à neutralidade, com as menores temperaturas das águas fluviais caracterizadas nos meses de inverno. Os valores de condutividade elétrica foram influenciados devido ao lançamento de efluentes urbanos da cidade diretamente no Rio das Araras. As [STS] foram inversamente aos obtidos para [STD], representando os processos de diluição das águas fluviais e remoção de solos pela erosão hídrica no período chuvoso. Houve claramente influência antrópica nas taxas de denudação química e física na bacia do Rio das Araras, especialmente ao lançamento de efluentes urbanos no Rio das Araras e remoção de solos nas áreas de plantações de cana-de-açúcar, respectivamente, indicando que os sistemas de paisagem humana estão afetando os processos naturais de denudação.

Palavras-chave: Geoquímica fluvial. Intemperismo químico. Remoção de solo. Atividades humanas. Bacias hidrográficas.

ABSTRACT - Assessments of chemical and physical denudation rates associated with chemical weathering and soil removal. However, few studies address the impacts by human activities on the landscape evolution. The present study estimated the chemical and physical denudation rates, based on fluxes of total dissolved solids (TDS) and total suspended solids (TSS), at five sampling points along the Araras River basin, interior of the state of São Paulo. The pH values were close to neutrality, with the lowest fluvial water temperatures characterized in the winter months. The EC values were influenced by the discharge of urban effluents released directly into Araras River. The [STS] were inversely related to those obtained for [STD], representing the processes of dilution of fluvial waters and soil removal by water erosion during the rainy season. There was clearly anthropogenic influence on the chemical and physical denudation rates in the Araras River basin, especially due to release of urban effluents into Araras River and soil removal in the sugarcane crops, respectively, indicating that human-landscape systems are affecting the natural denudation processes.

Keywords: Fluvial geochemistry. Chemical weathering. Soil removal. Human activities. Watersheds.

INTRODUÇÃO

Bacias hidrográficas representam importantes unidades da paisagem para realização de estudos de evolução de relevo, independentemente de sua escala, uma vez que os elementos/compostos presentes no escoamento fluvial refletem a dinâmica dos ecossistemas que abrigam, compreendendo tanto seus atributos físicos, químicos e biológicos, quanto a inter-relação de seus vários componentes, como rocha, solo, água, cobertura vegetal e atmosfera. Os processos naturais que

ocorrem em bacias hidrográficas podem ser evidenciados pela geoquímica fluvial, permitindo a derivação de leis de denudação química (intemperismo químico) e física (remoção do solo) que governam a remoção de elementos/compostos dos continentes para os oceanos, além de estimar o impacto do intemperismo químico no ciclo global do carbono (Gaillardet et al., 1999; Dessert et al., 2003).

Os processos de denudação dependem da

composição mineralógica, textura e densidade de fratura de uma rocha são fatores que controlam as interações água/rocha (Meybeck, 1987), bem como o clima, biosfera, hidrodinâmica, relevo e tempo (Martin & Meybeck, 1979). De maneira sintética, os processos de intemperismo químico precedem a remoção do solo, liberando íons solúveis que irão se integrar à carga dissolvida dos rios até os oceanos, sendo os produtos residuais constituintes denominados de perfis de intemperismo ou solos.

A remoção de solo é gerada pelos processos erosivos, sejam eles laminares ou lineares, que ocorrem principalmente na superfície dos perfis de intemperismo, promovendo a redução de massa que tende a nivelar o relevo continental, sendo o material removido sujeito aos processos de transporte e deposição/sedimentação em outras porções da paisagem (Milot et al., 2002; Négrel et al., 2007).

Desde os anos 1960, estudos pioneiros foram realizados ao redor do mundo (Barth, 1961; Gibbs, 1970; Tardy, 1971; Martin & Meybeck, 1979), os quais foram aprimorados com a inclusão de modelos de balanço de massa, considerando as contribuições atmosféricas e antrópicas, quando necessárias (Meybeck, 1987; Lasaga et al., 1994; White & Blum, 1995; Gaillardet et al., 1999; Milot et al., 2002). A maioria dos estudos internacionais focavam em bacias hidrográficas basálticas (Louvât & Allègre, 1997, 1998; Dessert et al., 2001, 2003; Louvat et al., 2008) e graníticas (White & Blum, 1995; Boeglin & Probst, 1998; Milot et al., 2002; Gaillardet et al., 2003; Oliva et al., 2003; West et al., 2002, 2005), indicando que as rochas basálticas se alteram mais rapidamente que as rochas graníticas.

O interesse em avaliar as taxas de denudação em bacias hidrográficas também ocorreu no Brasil, com trabalhos sendo conduzidos na região amazônica (Gibbs, 1967; Stallard & Edmond, 1987; Gaillardet et al., 1997; Mortatti & Probst, 2003).

ÁREA DE ESTUDO

O povoado, onde hoje encontra-se o município de Araras, surgiu por volta de 1862 em uma sesmaria de uma légua e meia, com a construção da primeira capela de Nossa Senhora do Patrocínio das Araras e algumas casas no divisor de águas dos ribeirões das Furnas e das Araras (Prefeitura de Araras, 2022).

Pitton (1997) descreve três fases de evolução da cidade de Araras: (i) fase de formação urbana

Posteriormente, diversos estudos foram realizados relacionados ao tema em bacias hidrográficas, mostrando que a transferência de material dissolvido e suspenso da litosfera para a hidrosfera é controlada pelas condições locais da litologia, clima, relevo e uso da terra (Conceição & Bonotto, 2003, 2004; Sardinha et al., 2010, 2012; Conceição et al., 2015, 2022, 2024a; Couto Júnior et al., 2016; Horbe et al., 2016; Fernandes et al., 2016, 2019, 2020a; Spatti Júnior et al., 2014, 2019).

O uso e ocupação da terra vem se modificando ao longo dos anos devido ao crescimento urbano e rural associado à falta de planejamento territorial, promovendo desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos e, consequentemente, na quantidade e qualidade dos recursos hídricos (Conceição & Bonotto, 2000; Sardinha et al., 2008a, 2008b; Conceição et al., 2010; Gonçalves et al., 2012; Moruzzi et al., 2012). Fernandes et al. (2020b) estudaram as influências humanas nas taxas de denudação química e física da Depressão Periférica Paulista (DPP) no estado de São Paulo, indicando um aumento de ~ 4 e 8 vezes em relação as taxas de denudação obtidas em áreas naturais, respectivamente, o que evidencia a complexidade dos sistemas homem-paisagem.

Assim, este estudo visa avaliar as influências antrópicas nas taxas de denudação química e física bacia do Rio das Araras, localizada no município de Araras interior do estado de São Paulo. Para isso, águas fluviais foram coletadas em quatro pontos de amostragem ao longo do Rio das Araras durante os meses de agosto e dezembro de 2018. Para correção dos aportes atmosféricos, foram coletadas amostras de águas pluviais durante o ano de 2019. Os resultados forneceram novos conhecimentos sobre como os sistemas homem-paisagem afetam os fluxos naturais dos elementos/compostos em bacias hidrográficas e, consequentemente, nas taxas de denudação.

relacionada à expansão da cultura cafeeira, chegada da Ferrovia Paulista S/A e pela imigração italiana; (ii) fase de estagnação, devido à migração da cultura cafeeira para o interior (oeste paulista) e a crise de 1906; (iii) fase de crescimento moderno, atrelada à cultura canavieira e a vinda de agroindústrias dos setores canavieiros e de alimentos, que concorreram para o aumento da população urbana, superando a população rural

já na década de 1960, com 61% dos habitantes residindo na área urbana. Atualmente, o município possui atividades no setor primário, secundário e terciário, sendo o setor de serviços o mais representativo, seguido pela atividade da indústria e da agropecuária, respectivamente (IBGE, 2018).

A bacia do Rio das Araras (Figura 1) está localizada dentro dos limites do município de Araras, na região Centro-Leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°15' e 22°25' S e meridianos 47°30' e 47°10' W, com área de 352,77 km² (Costa et al., 2015) e população estimada em 131.282 habitantes em 2017 (IBGE, 2018).

Os ribeirões das Araras e das Furnas são os principais formadores do Rio das Araras, onde o primeiro tem suas nascentes a noroeste (Formação Corumbataí) e o segundo a sudoeste (Formação Pirambóia) da área urbana do município de Araras. Ao confluírem, o Rio das Araras escoia sentido nordeste (Formação Tatuí) e alterando para leste em sua porção final (Grupo Itararé), até desaguar no Rio Mogi-Guaçu (Costa et al., 2015).

O conjunto hidrológico da bacia do Rio das Araras apresenta um padrão de drenagem dendrítico e lagoas interligadas, formado pelos ribeirões supracitados e pelos córregos Água Boa, Facão, Araruna, Água Branca e Arari.

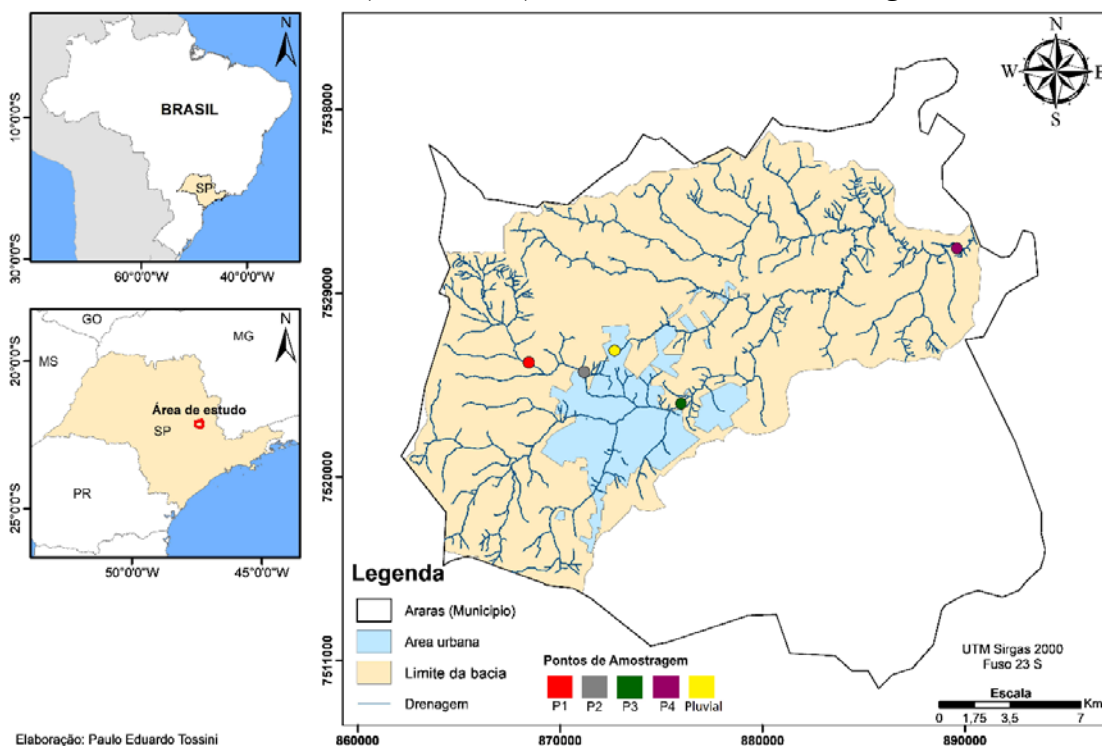


Figura 1 - Localização do município de Araras e dos pontos de amostragem.

O município de Araras apresenta diferentes tipos de solos, ou seja, Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo, Gleissolo Háptico, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolos Litólico (Costa et al., 2015). A cobertura vegetal original era composta por florestas altas e vegetação de cerrado, porém foram substituídas por vários usos da terra até as plantações de cana-de-açúcar, as quais tornaram-se a principal cultura na bacia do Rio das Araras.

O clima predominante na região é tipo C_{wa}, caracterizado como um clima mesotérmico com verões quentes e estação seca de inverno, temperatura média inferior a 18 °C e média superior acima de 22 °C no mês mais quente (Köppen, 1948). A estação seca nessa região ocorre nos meses de abril a setembro, sendo julho o mês que atinge a máxima intensidade, enquanto o mês mais chuvoso oscila entre dezembro e março.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostragem

Para a obtenção das taxas de denudação química e física na bacia do Rio das Araras foram conduzidas amostragens de águas fluviais e pluviais (Figura 1).

Em relação as águas fluviais, foram coletadas no período de agosto a dezembro de 2018, em quatro pontos de amostragem, considerando as áreas naturais, urbanas e agrícolas no município de Araras. Os pontos de amostragem P1 e P2

representaram as áreas de contribuição das nascentes do Rio das Araras, antes da mancha urbana de Araras. O ponto de amostragem P3 foi estabelecido após a zona urbana de Araras.

O ponto de amostragem P4 localiza-se em área de cultivo de cana-de-açúcar, próximo da confluência com o Rio Mogi-Guaçu. As coletas de águas pluviais foram conduzidas na área urbana de Araras, sendo realizadas com o uso de pluviômetro durante novembro de 2019 e janeiro de 2020 (n = 22), sempre em um intervalo máximo de 24 h após cada evento de chuva.

Em ambos os casos, as amostras foram coletadas em frascos de polietileno de 500 mL e armazenados a 4 °C de refrigeração.

Técnicas analíticas

A cada coleta de águas fluviais foi determinada a vazão instantânea no respectivo ponto de amostragem, utilizando a Equação 1.

Ainda em campo, foram quantificados os parâmetros pH, temperatura (T, em °C), condutividade elétrica (CE, em $\mu\text{S}/\text{cm}$) e sólidos totais dissolvidos (STD, em mg/L), utilizando-se uma sonda multiparamétrica YSI 556, com eletrodo de pH do tipo combinado calibrado com padrões de alta pureza para pH 4,00 ($4,01 \pm 0,01$ a $25 \pm 0,2$ °C) e 7,00 ($7,01 \pm 0,01$ a $25 \pm 0,2$ °C), e condutivímetro calibrado com solução padrão de KCl 1,0 mmol/L de condutividade conhecida ($147 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C).

Os sólidos totais em suspensão (STS, em mg/L) foram quantificados em laboratório através do Espectrofotômetro Hach DR 2800 (Método fotométrico de 2 a 750 ± 1 mg/L).

Para as águas pluviais, foram caracterizados os valores de pH, CE e STD diretamente durante a amostragem, com os mesmos protocolos usados para as amostras de águas fluviais.

$$Q = A \cdot V \cdot c \quad (1)$$

onde Q = vazão (m^3/s); A = área úmida da seção transversal do canal no ponto de amostragem (m^2); V = velocidade do fluxo de água medida com o uso de um molinete (m/s); e c = coeficiente empírico de correção para rios com fundo arenoso, que equivale a 0,8.

As concentrações médias de STD e STS foram normalizadas pela vazão de acordo com a Equação 2.

A média ponderada pela precipitação da [STD] também foi obtida para o período de estudo de acordo com a Equação 2, sendo a vazão substituída pelo volume de precipitação no evento.

$$C_{MNQ} = \frac{\sum(Q_i \cdot C_i)}{\sum Q_i} \quad (2)$$

onde C_{MNQ} = a concentração média de STD ou STS normalizada pela vazão (g/L); Q_i = vazão medida no dia de amostragem (L/s); e C_i = concentração de STD ou STS para o dia de amostragem (g/L).

Avaliação das taxas de denudação química e física

A contribuição advinda da denudação química das rochas, denominada fluxo anual específico de material dissolvido (W_q em $\text{kg}/\text{m}^2/\text{a}$), foi obtida a partir da concentração média de STD nas águas fluviais ponderada pela vazão {[STD]_r em kg/L}, vazão anual (Q_{anual} em L/a) e a área da bacia hidrográfica (S em m^2), corrigida das contribuições atmosféricas, de acordo com a Equação 3 (Lerman et al., 2007), onde [STD]_c (em kg/L) é a concentração média de STD nas águas pluviais ponderada pela precipitação e P_{anual} é a precipitação anual (L/ m^2/a). Usando a densidade das rochas (ρ em kg/m^3) e os valores de W_q , determina-se a taxa de denudação química H_q (em m/a ou m/Ma) (Equação 4).

$$W_q = \frac{[\text{STD}]_r Q_{\text{anual}}}{S} - [\text{STD}]_c \quad (3)$$

$$H_q = \frac{W_q}{\rho} \quad (4)$$

Já o fluxo anual de solo removido pela denudação física foi determinado com a Equação 5, utilizando-se o fluxo anual específico de STS (W_m em $\text{kg}/\text{m}^2/\text{a}$) e considerando o aporte pluvial de STS sendo desprezível (Fernandes et al., 2016). Com a densidade dos solos (ρ' em kg/m^3) e os valores de W_m , pode-se determinar a taxa de denudação física H_m (em cm/a ou m/Ma) (Equação 6).

$$W_m = \frac{[\text{STS}] Q_{\text{anual}}}{S} \quad (5)$$

$$H_m = \frac{W_m}{\rho'} \quad (6)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Hidroquímica

Os resultados de vazão, pH, T, CE, STD e STS são apresentados na tabela 1. Para todos os pontos

de amostragem, os menores valores de vazão foram registrados no mês de agosto, que normalmente é o mês mais seco do ano, sendo novembro

o mês com os maiores valores de vazão.

Os valores médios de vazão foram ~ 10, 160, 1664 e 6363 L/s nos pontos de amostragem P1, P2, P3 e P4, respectivamente, indicando claramente um aumento de vazão ao longo do Rio das Araras. Os valores de pH foram próximos à neutralidade durante todo o período de amostragem e praticamente não houve variação entre

os pontos de amostragem e nem mesmo para os meses mais secos e chuvosos, com média de 6,6 para o P1, 6,7 para o P2 e 6,8 para os P3 e P4. As menores temperaturas foram obtidas no mês de agosto (média de ~ 18 °C), aumentando gradativamente até o mês de dezembro (média de ~ 24 °C), indicando um controle do clima tropical na temperatura das águas fluviais.

Tabela 1 – Valores de vazão (Q), pH, temperatura (T), condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e sólidos totais em suspensão (STS) obtidos nos pontos de amostragem de águas fluviais no Rio das Araras. P1, P2, P3 e P4 são os pontos de amostragem de águas fluviais.

Data de amostragem	Q (L/s)	pH	T(°C)	CE(μS/cm)	STD(mg/L)	STS (mg/L)
P1						
Agosto	2,3	6,7	17,7	43,0	12,6	4,3
Setembro	5,8	6,5	22,0	34,6	9,2	6,0
Outubro	3,5	6,5	22,3	35,6	11,5	6,3
Novembro	23,4	6,6	22,7	22,3	5,6	27,7
Dezembro	15,1	6,7	23,6	27,6	6,8	15,7
P2						
Agosto	17,3	6,7	17,6	67,0	15,6	5,0
Setembro	29,5	6,6	21,5	54,7	10,9	8,3
Outubro	20,6	6,5	21,6	61,0	12,8	7,0
Novembro	488,7	6,7	21,8	43,8	5,5	25,3
Dezembro	244,4	6,7	23,5	58,2	8,1	16,7
P3						
Agosto	270,0	6,8	18,3	342,3	23,5	6,3
Setembro	531,3	6,7	22,3	204,7	13,2	11,3
Outubro	327,1	6,5	22,7	278,7	18,2	8,7
Novembro	5337,2	6,8	22,6	140,0	7,1	48,0
Dezembro	1853,3	6,8	24,5	189,0	10,6	30,7
P4						
Agosto	957,3	6,9	19,1	314,3	22,0	13,0
Setembro	3365,0	6,8	21,6	185,7	12,4	17,0
Outubro	1179,2	6,6	22,6	257,3	17,3	10,0
Novembro	19213,9	6,9	22,5	128,0	6,3	58,0
Dezembro	7097,5	6,7	24,6	179,0	10,1	37,7

Fica evidente que os menores valores de CE foram obtidos nos pontos P1 e P2 em relação aos demais pontos de amostragem. Os maiores valores de CE foram caracterizados no ponto P3, com diminuição entre os pontos P3 e P4, sendo estes valores muito maiores que os encontrados para P1 e P2.

Através da CE é possível identificar diferenças hidrogequímicas e as fontes poluidoras, pois os lançamentos de efluentes domésticos *in natura* elevam os valores de CE dos corpos d'água para acima de 100 μS/cm (Conceição & Bonotto, 2002).

Assim, o expressivo aumento da CE entre os pontos P2 e P3 deve-se ao lançamento de efluentes domésticos provenientes da cidade de Araras.

Apesar de haver 100% de coleta de esgoto

na área urbana, estes são lançados diretamente nos corpos d'água sem tratamento, devido às obras de construção de uma nova Estação de Tratamento de Esgoto na cidade durante o período estudado, pois, em função do desabamento de um reator, a antiga estação foi desativada em 2015.

Há ainda uma diminuição dos valores de CE entre os pontos P3 e P4 devido à diluição das águas do Rio das Araras pela entrada de águas sem presença de esgotos urbanos de seus tributários após a cidade de Araras.

Outro fato interessante a ser observado é que para todos os pontos de amostragem, os maiores e menores valores de CE foram obtidos nos meses de agosto e novembro, evidenciando o efeito da diluição das águas fluviais na bacia do Rio das Araras pelas águas pluviais.

A figura 2 ilustra a relação entre Q e [STD] e [STS]. Na bacia do Rio das Araras, os maiores

valores da [STD] foram quantificados no mês de agosto, no ápice da estação seca.

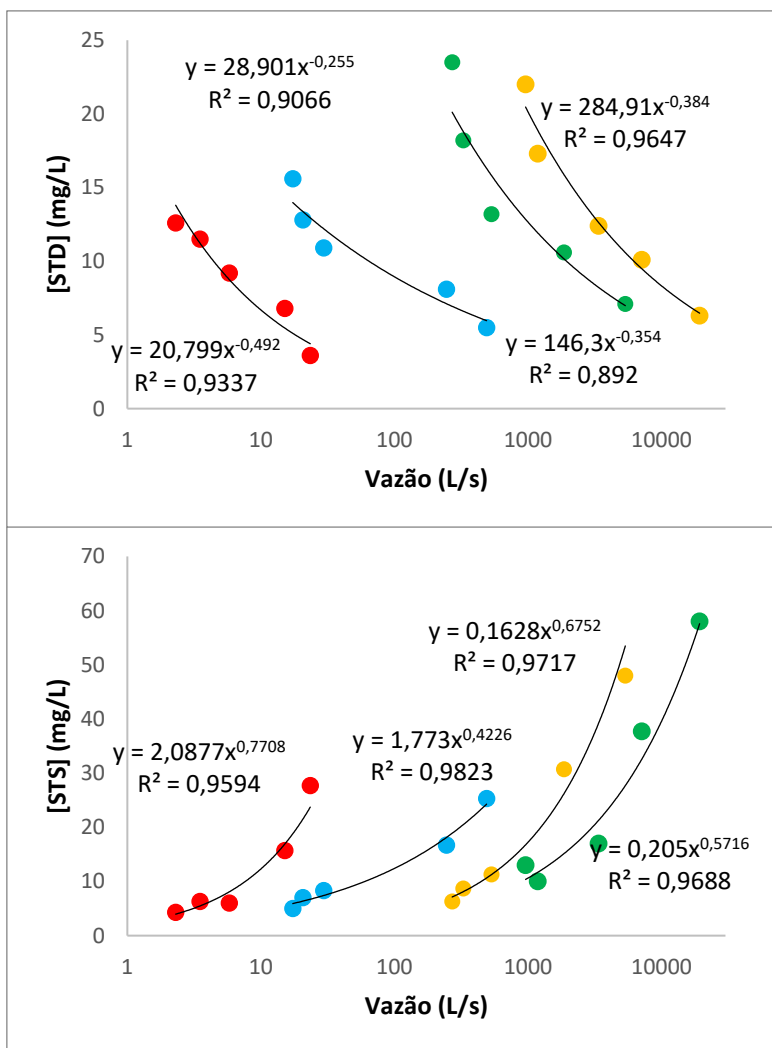


Figura 2 - Relação entre vazão vs. [STD] e [STS] nos quatro pontos de amostragem na bacia do Rio das Araras (pontos vermelhos = P1; pontos azuis = P2; pontos amarelos = P3; e pontos verdes = P4).

Já no período chuvoso, as menores [STD] ocorreram no mês de novembro. Os valores da [STS] foram inversamente aos obtidos para [STD], com os maiores e menores valores da [STS] nos meses de novembro e agosto, respectivamente. Para verificar a influência da sazonalidade nas [STD] e [STS], foi utilizado o modelo proposto por Godsey et al. (2009), onde $[TDS]$ ou $[TSS] = a.Q^b$, onde a é função das características do soluto e das bacias hidrográficas; b (adimensional) é a inclinação da linha ajustada entre [STD] ou [STS] (Conceição et al., 2024b).

A figura 2 ilustra a relação entre Q e [STD] e [STS]. A relação entre Q e [STD] foi inversa, representando o processo de diluição das águas fluviais pelas águas pluviais no período chuvoso em todos os pontos de amostragem. A [TSS] esteve diretamente relacionada com a Q devido à erosão hídrica, e consequentemente a remoção do

solo, no período de chuvas.

Os valores de pH, CE e [STD] obtidos ao longo dos meses de coleta de águas pluviais são apresentados na figura 3.

O pH variou entre 6,2 e 7,5, com média de 6,7, permanecendo próximo aos valores de pH das águas fluviais. O valor de pH de 5,6 em águas de chuva “limpas” é função da solubilização parcial do dióxido de carbono e pelo equilíbrio de dissolução parcial do ácido carbônico formado, com limite inferior de pH para as águas de chuva acidificadas por processos naturais corresponde a 5,0.

Durante todo o período de amostragem, não houve valores de pH inferiores a 6,2, indicando que as águas pluviais na bacia do Rio das Araras não podem ser classificadas como chuvas ácidas. A CE variou entre 3,3 e 21,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com média de 10,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores semelhantes aos obtidos para outras regiões brasileiras (Conceição et al., 2011, 2013, Conceição et al., 2016).

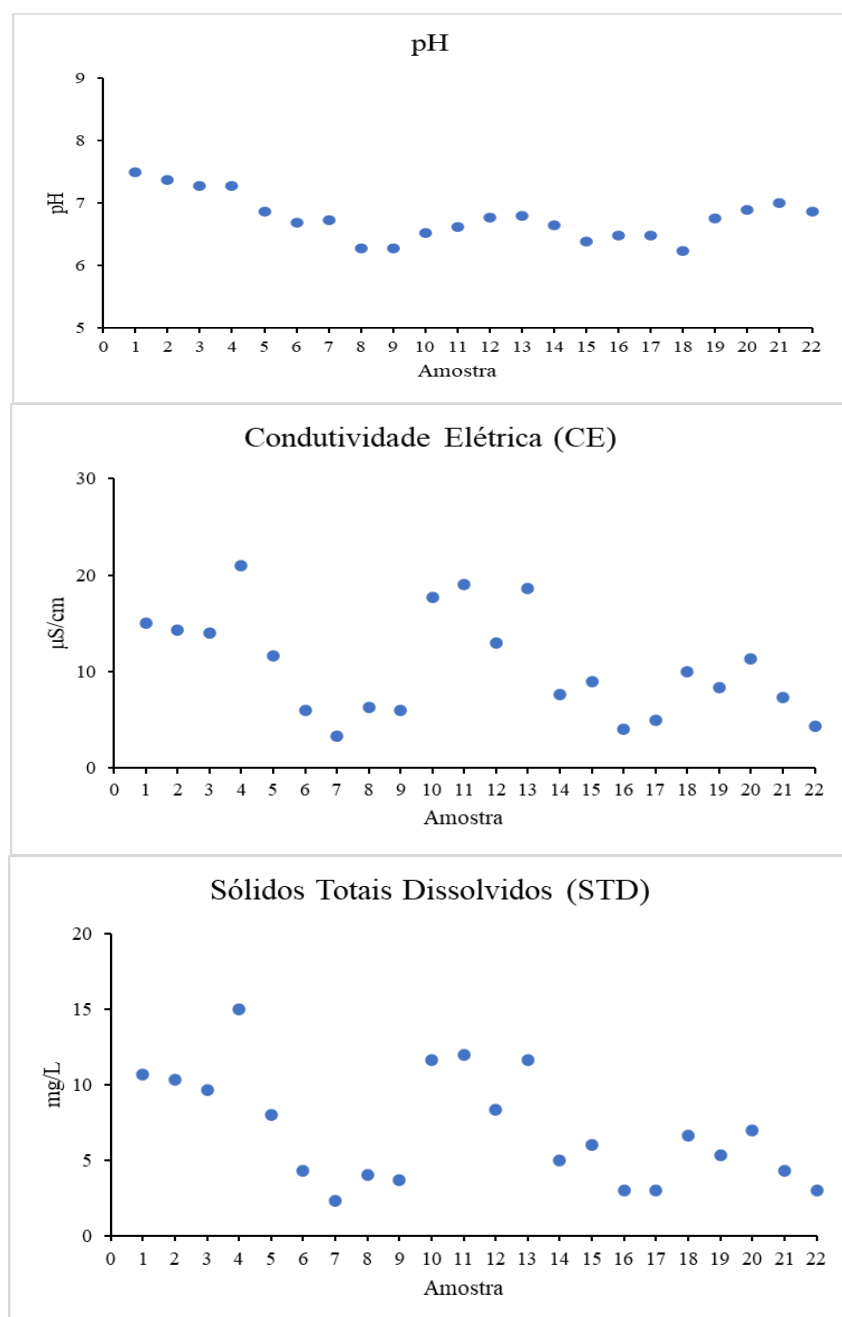


Figura 3 - Variação dos valores de pH, CE e [STD] ao longo dos meses de coleta de águas pluviais na bacia do Rio das Araras.

Finalmente, as [STD] variaram entre 2,2 e 14,9 mg/L, com média de 5,5 mg/L. Este valor médio da [STD] é praticamente igual para as águas pluviais nos pontos de amostragem P1 e P2 e ligeiramente inferiores aos quantificados em P3 e P4 no mês de novembro, refletindo diretamente o efeito de diluição das águas fluviais pelas águas pluviais, como discutido pela relação Q vs. [STD].

Influências antrópicas nas taxas de denudação química e física

Para avaliar as influências antrópicas da área urbana da cidade de Araras no balanço de denudação na bacia do Rio das Araras foi necessário calcular os fluxos específicos anuais advindos dos processos de intemperismo

químico (W_q) e de remoção de solo (W_m), uma vez que representam a massa anual dissolvida e em suspensão transportada pelo Rio das Araras relativizadas pelas áreas de contribuição de cada ponto de amostragem.

Os fluxos foram calculados considerando os valores médios de Q , [STD] e [STS] obtidos para cada ponto de amostragem e uma precipitação anual de 1.624 mm. As taxas de denudação química e física foram obtidas usando-se as densidades das rochas de 2650 kg/m^3 e dos solos de 1600 kg/m^3 .

De acordo com Penteado (1978), o balanço de denudação (ΔD) pode ser obtido pela expressão $\Delta D = H_q - H_m$. Quando o valor de ΔD é igual a zero, há um equilíbrio entre as taxas, com a

espessura dos solos permanecendo constante; já nos casos em que a taxa de denudação física é maior que a química ocorre a adelgaçamento dos solos e, se o processo é inverso, tem-se o espessamento dos solos.

Os fluxos, taxas e balanço de denudação por ponto de amostragem são apresentados na tabela 2. As reais taxas de denudação química e física na bacia do Rio das Araras podem ser obtidas nos pontos de amostragem P1 e P2, pois nestes locais ainda não há entrada de efluentes domésticos no Rio Araras e nem são afetados pelas atividades

agrícolas.

Analisando as taxas médias de denudação química e física foram de $\sim 0,4$ e $\sim 1,6$ m/Ma, respectivamente, indicando que a taxa de denudação física foi ~ 4 vezes maior que a química, em consonância com o balanço global geralmente aceito para bacias hidrográficas, onde a denudação física é cerca de até seis vezes maior que a química (Lasaga et al., 1994). Ainda, indica-se um balanço de denudação negativo para a bacia do Rio Araras, havendo uma diminuição da espessura dos solos de $\sim 1,2$ m/Ma.

Tabela 2 - Valores de W_q , W_m , H_q , H_m e ΔD por ponto de amostragem na bacia do Rio das Araras.

Ponto de amostragem	W_q (t/km ² /a)	W_m (t/km ² /a)	H_q (m/Ma)	H_m (m/Ma)	ΔD (m/Ma)
P1	0,5	2,2	0,3	1,3	-1,0
P2	1,0	2,9	0,4	1,8	-1,4
P3	3,5	14,6	1,4	9,1	-7,7
P4	5,0	26,5	1,9	16,6	-14,7

A área de estudo está localizada na Depressão Periférica Paulista, a qual é composta por rochas sedimentares da Bacia Sedimentar do Paraná (PSB - Ordoviciano Superior ao Cretáceo Superior), uma bacia intracratônica ocupando $\sim 1.700.000$ km² (Milani et al., 2007).

Esta unidade geomorfológica é uma província com topografia mais baixa em relação aos planaltos Atlântico e Ocidental, com altitude variando de 650 a 550 m acima do nível do mar. Na área onde se localizam P1 e P2 afloram siltitos e argilitos da Formação Corumbataí (Grupo Passa Dois), as quais são comumente usadas como matéria prima na indústria de cerâmica vermelha no Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, o maior polo produtor cerâmico da América Latina (Montibeller et al., 2020).

Assim, a média de $\sim 0,4$ m/Ma obtida neste trabalho para a Formação Corumbataí confirma as menores taxas de denudação química para rochas sedimentares clásticas da Depressão Periférica Paulista ($\sim 0,7$ m/Ma - Couto Júnior et al., 2016; Spatti Júnior et al., 2019) em relação aos basaltos da Formação Serra Geral (~ 6 m/Ma - Conceição et al., 2015) e rochas ígneas/metamórficas do Cinturão Ribeira (~ 15 m/Ma - Sardinha et al., 2010; Fernandes et al., 2016), confirmando a baixa taxa de denudação química das rochas sedimentares clásticas na DPP devido à maior resistência ao intemperismo químico de seus principais minerais (quartzo e caulinita) (Goldich, 1938).

Como demonstrado pelos valores de CE

caracterizados no ponto P3, já há entrada de lançamentos de efluentes urbanos no Rio das Araras. Com isso, os valores de [STD] aumentam durante todo o período de amostragem, sendo os mesmos os maiores valores de CE obtidos em todos os pontos de amostragem (Figura 2). Apesar de haver um ligeiro efeito de diluição entre os pontos de amostragem P3 e P4, que não diminuiu a [STD] ao longo do Rio das Araras, ainda houve um aumento nas taxas de denudação química, refletindo diretamente um aumento nas taxas de denudação química de $\sim 0,4$ m/Ma nas áreas próximas as nascentes para 1,9 m/Ma na foz desta bacia hidrográfica.

Assim, este estudo proporcionou verificar claramente a influência das atividades urbanas nas taxas de intemperismo químico na Depressão Periférica Paulista, permitindo comparar as taxas de denudação química com outras taxas medidas em pequenas bacias hidrográficas localizadas na Depressão Periférica Paulista.

Ainda, fica nítida a necessidade de se usar modelos que permitam corrigir os fluxos fluviais associados às atividades urbanas, o que teoricamente deveria ser feito utilizando-se o modelo proposto por White & Blum (1995).

Em relação às taxas de denudação física, há contínuo aumento nas taxas de $\sim 1,6$ m/Ma para as áreas próximas as nascentes, passando de $\sim 9,1$ m/Ma após a área urbana da cidade de Araras, até $\sim 16,6$ m/Ma na foz do Rio das Araras. O primeiro aumento associa-se ao lançamento de esgotos, como já discutido.

Porém, o segundo aumento deve-se às atividades agrícolas, mais especificamente a remoção de solos expostos nas plantações de cana-de-açúcar. Estudo conduzido por Couto Júnior et al. (2019) indicou que essa mudança para a cultura da cana-de-açúcar pode aumentar a perda de solo em cerca de 270% em relação ao uso atual da terra na Depressão Periférica Paulista, justificando o aumento nas taxas de denudação física obtidas na foz da bacia do Rio das Araras.

Particularmente no estado de São Paulo, as mudanças de uso da terra estão associadas à produção de biocombustíveis, que são responsáveis por 42% do fornecimento de energia reno-

vável no Brasil (OECD/FAO, 2015). Além disso, as terras agrícolas e áreas de pastagens no Depressão Periférica Paulista foram alteradas para culturas de cana-de-açúcar devido à crescente demanda por etanol desde que o governo federal brasileiro implementou o Projeto PRO-ALCÓOL iniciado em 1975 (Adami et al., 2012).

Para finalizar, esse estudo mostra que os sistemas de paisagens humanas afetam as taxas de denudação física na Depressão Periférica Paulista e, com a expansão contínua das plantações de cana-de-açúcar, estas taxas podem aumentar ainda mais no futuro devido à política energética brasileira.

CONCLUSÕES

Este estudo permitiu melhor compreensão da influência antrópica sobre as taxas de denudação química e física que ocorrem em uma região tropical na Depressão Periférica Paulista, por meio da avaliação da dinâmica do transporte fluvial na bacia do Rio das Araras.

Os valores de pH foram próximos à neutralidade durante todo o período de amostragem e praticamente não houve variação entre os pontos de amostragem. As menores temperaturas das águas fluviais foram obtidas nos meses de inverno em relação ao verão, indicando um controle do clima tropical na temperatura das águas fluviais.

Os menores valores de CE foram obtidos nos pontos P1 e P2 em relação aos pontos P3 e P4, devido ao lançamento de efluentes urbanos da cidade de Araras diretamente nos cursos d'água da bacia do Rio das Araras.

Os valores da [STS] foram inversamente aos obtidos para [STD], representando os processos de diluição das águas fluviais e remoção de solos

pela erosão hídrica no período chuvoso em todos os pontos de amostragem.

As taxas de denudação química e física claramente foram influenciadas pelas atividades humanas que estão ocorrendo na bacia do Rio das Araras, especialmente pelo lançamento de efluentes na área urbana da cidade de Araras e remoção de solos nas áreas de plantações de cana-de-açúcar em sua área agrícola.

Assim, o efeito das mudanças no uso da terra nas taxas atuais de denudação na Depressão Periférica Paulista é evidente, indicando que os sistemas de paisagem humana estão afetando os processos naturais de denudação e, conseqüentemente, a evolução da paisagem na Depressão Periférica Paulista.

Assim, os resultados fornecem novos conhecimentos relacionados aos sistemas humano-paisagem, conhecimento que deve ser aplicado em outros lugares para entender melhor a influência humana nas taxas atuais de denudação.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro (Processo 308622/2023-5). Os autores agradecem também a um revisor que contribuiu para a melhora deste manuscrito.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M.; RUDORFF, B.F.T.; FREITAS, R.M.; AGUIAR, D.A.; SUGAWARA, L.M.; MELLO, M.P. Remote sensing time series to evaluate direct land use change of recent expanded sugarcane crop in Brazil. **Sustainability** 4, 574–585, 2012.
- BARTH, T.F.W. Abundance of the elements, areal averages and geochemical cycles. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 23, p. 1-8, 1961.
- BOEGLIN, J.I. & PROBST, J.L. Physical and chemical weathering rates and CO₂ consumption in a tropical lateritic environment: the upper Niger basin. **Chemical Geology**, v. 148, p. 137-156, 1998.
- CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. Anthropogenic influences on the uranium concentration in waters of the Corumbataí River basin (SP). Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 555-557, 2000.
- CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação da qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 16, p. 01-21, 2002.
- CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. Use of U-isotopes disequilibrium to evaluate the weathering rates and fertilizer

- derived uranium at São Paulo State, Brazil. **Environmental Geology**, v. 44, p. 408–418, 2003.
- CONCEIÇÃO, F.T. & BONOTTO, D.M. Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 19, p. 575–591, 2004.
- CONCEIÇÃO, F.T.; SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; NAVARRO, G.R.B. Anthropogenic influences on annual flux of cations and anions at Meio Stream basin, São Paulo State, Brazil. **Water Air and Soil Pollution**, v. 205, p. 79–91, 2010.
- CONCEIÇÃO, F.T.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B.; ANTUNES, M.L.P.; ANGELUCCI, V.A. Rainwater chemical composition and annual atmospheric deposition at Alto Sorocaba basin. **Química Nova**, v. 34, p. 610–616, 2011.
- CONCEIÇÃO, F.T.; ANTUNES, M.L.P.; ANGELUCCI, V.A.; MORUZZI, R.B.; NAVARRO, G.R.B. Rainwater chemical composition and annual atmospheric deposition in Sorocaba (São Paulo State), Brazil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 31, p. 5–15, 2013.
- CONCEIÇÃO, F.T.; SANTOS, C.M.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B.; GODOY, L.H. Chemical weathering rate, denudation rate, and atmospheric and soil CO₂ consumption of Paraná flood basalts in São Paulo State, Brazil. **Geomorphology**, v. 233, p. 41–51, 2015.
- CONCEIÇÃO, F.T.; LITHOLDO, T.; SARDINHA, D.S.; MORUZZI, R.B.; NAVARRO, G.R.B.; GODOY, L.H. The influence of phosphate mining on the chemical composition of annual atmospheric deposition in Catalão (GO) and Tapira (MG). **Water Air and Soil Pollution**, v. 227, p. 69, 2016.
- CONCEIÇÃO, F.T.; VASCONCELOS, P.M.; GODOY, L.H.; NAVARRO, G.R.B.; MONTIBELLER, C.C.; SARDINHA, D.S. Water/rock interactions, chemical weathering and erosion, and supergene enrichment in the Tapira and Catalão I alkaline-carbonate complexes, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 237, p. 106999, 2022.
- CONCEIÇÃO, F.T.; MELO, R.C.A.; FERNANDES, A.M.; SARDINHA, D.S. Chemical and physical denudation rates in the Poços de Caldas Alkaline Massif, Minas Gerais State, Brazil. **Minerals**, v. 14, p. 700, 2024a.
- CONCEIÇÃO, F.T.; FERNANDES, A.M.; MORUZZI, R.B.; MORTATTI, J. Dynamics of dissolved inorganic carbon (DIC) and stable C isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) in a tropical watershed with diversified land use in São Paulo State, Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 933, p. 173071, 2024b.
- COSTA, C.W.; PIGA, F.G.; MORAES, M.C.P.; DORICI, M.; SANGUINETTO, E.C.; LOLLO, J.A.; MOSCHINI, L.E.; LORANDI, R.; OLIVEIRA, L.J. Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: Manancial do Rio das Araras – Araras, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 946 – 958, 2015.
- COUTO JÚNIOR, A.A.; CONCEIÇÃO, F. T.; FERNANDES, A. M.; SPATTI JÚNIOR, E. P.; LUPINACCI, C. M.; MORUZZI, R. B. Land use changes associated with the expansion of sugar cane crops and their influences on soil removal in a tropical watershed in São Paulo State (Brazil). **Catena**, v. 172, p. 313–323, 2019.
- COUTO JUNIOR, A.A.; CONCEIÇÃO, F.T.; FERNANDES, A.M.; LUPINACCI, C.M.; SPATTI JUNIOR, E.P. Geoquímica fluvial aplicada à avaliação das taxas de intemperismo químico e remoção de solo da Formação Rio Claro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, p. 451–464, 2016.
- DESSERT, C., DUPRÉ, B., FRANÇOIS, L.M., SCHOTT, J., GAILLARDET, J., CHAKRAPANI, G., BAJPAI, S. Erosion of Deccan Traps determined by river geochemistry: impact on the global climate and the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio of seawater. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 188, p. 459–474, 2001.
- DESSERT, C.; DUPRÉ, B., GAILLARDET, J.; FRANÇOIS, L.M.; ALLÈGRE, C.J., Basalt weathering laws and the impact of basalt weathering on the global carbon cycle. **Chemical Geology**, v. 202, p. 257–273, 2003.
- FERNANDES, A.M.; CONCEIÇÃO, F.T.; SPATTI JUNIOR, E.P.; SARDINHA, D.S.; MORTATTI, J. Chemical weathering rates and atmospheric/soil CO₂ consumption of igneous and metamorphic rocks under tropical climate in southeastern Brazil. **Chemical Geology**, v. 443, p. 54–66, 2016.
- FERNANDES, A.M.; CONCEIÇÃO, F.T.; SPATTI JUNIOR, E.P.; COUTO JUNIOR, A.A.; MORTATTI, J. Modelagem do controle climático nas taxas de erosão mecânica e de intemperismo químico na bacia do Rio Sorocaba (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 33, p. 50–63, 2019.
- FERNANDES, A.M.; CONCEIÇÃO, F.T.; MORTATTI, J. Hydrochemistry applied to assess the chemical weathering and soil removal rates in the Sorocaba River basin, São Paulo State. **Brazilian Journal of Geology**, v. 50, p. e20290030, 2020a.
- FERNANDES, A.M.; CONCEIÇÃO, F.T.; SPATTI JÚNIOR, E.P.; COUTO JÚNIOR, A.A.; HISSLER, C. & MORTATTI, J. Hydrochemistry applied to assess the chemical weathering and soil removal rates in the Sorocaba River basin, São Paulo State. **Geomorphology**, v. 351, p. 106955, 2020b.
- GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; ALLÈGRE, C. J.; NÉGREL, P. Chemical and physical denudation in the Amazon River basin. **Chemical Geology**, v. 142, p. 141–173, 1997.
- GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; LOUVAT, P.; ALLÈGRE, C. J. Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. **Chemical Geology**, v. 159, p. 3–30, 1999.
- GAILLARDET, J.; MILLOT, R.; DUPRÉ, B. Chemical denudation rates of the western Canadian orogenic belt: The Stikine terrane. **Chemical Geology**, v. 201, p. 257–279, 2003.
- GIBBS, R.J. The geochemistry of the Amazon River System. Part 1. The factors that control the salinity and the composition and concentration of suspended solids. **GSA Bulletin**, v. 78, p. 1203–1232, 1967.
- GIBBS, R.J. Mechanisms controlling world river water chemistry. **Science**, v. 170, p. 1088–1090, 1970.
- GODSEY, S.E.; KIRCHNER, J.W.; CLOW, D.W. Concentration-discharge relationship reflect chemostatic characteristics of US catchments. **Hydrological Processes**, v. 23, p. 1844–1864, 2009.
- GOLDICH, S.S. A study in rock weathering. **The Journal of Geology**, v. 46, p. 17–58, 1938.
- GONCALVES, J.C.S.I.; SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; DIBIAZI, A.L.B.; GODOY, L.H.; CONCEIÇÃO, F.T. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água e simulação de autodepuração na bacia hidrográfica do córrego São Simão (SP). **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 141–152, 2012.
- HORBE, A.M.C.; LAGES, A.S.; MOQUET, J.S.; SANTOS, R.V.; SEYLER, P.; COCHONNEAU, G. Geochemistry of organic-rich river waters in Amazonia: Insights on weathering processes of intertropical cratonic terrain. **Applied Geochemistry**, v. 65, p. 22–35, 2016.
- IBGE. **Cidades/São Paulo/Araras**. Disp. em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/araras/panorama>>. Acesso em: 15 maio 2018.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**; Fondo de Cultura Econômica: Mexico City, Mexico, 1948.
- LASAGA, A.C.; SOLER, J.M.; GANOR, J.; BURCH, T.E.; NAGY, K. Chemical weathering rate law and global geochemical cycles. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 58, p. 2361–2386, 1994.
- LERMAN, A., WU, L., MACKENZIE, F.T. CO₂ and H₂SO₄ consumption in weathering and material transport to the ocean, and their role in global carbon balance. **Marine Chemistry**, v. 106, p. 326–350, 2007.
- LOUVAT, P. & ALLÈGRE, C.J. Present denudation rates on the island of Réunion determined by river geochemistry: basalt weathering and mass budget between chemical and mechanical erosions. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 61, p. 3645–3669, 1997.
- LOUVAT, P. & ALLÈGRE, C.J. Riverine erosion rates on Sao Miguel volcanic island, Azores archipelago. **Chemical Geology**, v. 148, p. 177–200, 1998.
- LOUVAT, P.; GISLASON, S.R.; ALLÈGRE, C.J. Chemical and

- mechanical erosion rates in Iceland as deduced from river dissolved and solid material. **American Journal of Science**, v. 308, p. 679-726, 2008.
- MARTIN, J.M. & MEYBECK, M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. **Marine Chemistry**, v. 7, p. 173-206, 1979.
- MEYBECK, M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. **American Journal of Science**, v. 287, p. 401-428, 1987.
- MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANCA, A.B. Bacia do Paraná **Boletim de Geociências Petrobras** v. 15, p. 265-287, 2007.
- MILLOT, R.; GAILLARDET, J.; DUPRÉ, B.; ALLÈGRE, C.J. The global control of silicate weathering rates and the coupling with physical erosion: new insights from rivers of Canadian Shield. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 196, p. 83-98, 2002.
- MONTIBELLER, C.C.; NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A.; ROHN, R.; DEL ROVERI, C.; ROCHA, R.R.D.; CONCEIÇÃO, F.T.C. Geochemistry of siltstones from the Permian Corumbataí formation from the Paraná basin (state of São Paulo, Brazil): insights of provenance, tectonic and climatic settings. **Journal of South American Earth Science**, v. 102, p. 102582, 2020.
- MORTATTI, J. & PROBST, J. L. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. **Chemical Geology**, v. 197, p. 177-196, 2003.
- MORUZZI, R.B.; CONCEIÇÃO, F.T.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B. Avaliação de cargas difusas e simulação de autodepuração no Córrego da Água Branca, Itirapina (SP). **Geociências**, v. 31, p. 447-458, 2012.
- NÉGREL, P.; ROY, S.; PETELET-GIRAUD, E.; MILLOT, R.; BRENOT, A. Long-term fluxes of dissolved and suspended matter in the Ebro River Basin (Spain). **Journal of Hydrology**, v. 342, p. 249-260, 2007.
- OECD/FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2015**. OECD Publishing, Paris, 2015.
- OLIVA, P.; VIERS, J.; DUPRÉ, B. Chemical weathering in granitic environments. **Chemical Geology**, v. 202, p. 225-256, 2003.
- PENTEADO, M.M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. 180 p.
- PITTON, S.E.C. **As cidades como indicadoras de alterações térmicas**. São Paulo, 1997, 272 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- PREFEITURA DE ARARAS. **História**. Disp. em: <<https://araras.sp.gov.br/historia/%3E>>. Acesso em: 24 ago 2022.
- SARDINHA, D.S.; CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M.; SALLES, M.H.F., ANGELUCCI, V.A. Avaliação do balanço anual de cátions e ânions na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, p. 730-740, 2008a.
- SARDINHA, D.S.; BONOTTO, D.M.; CONCEIÇÃO, F.T. Weathering rates at Alto Sorocaba basin, Brazil, using U-isotopes and major cations. **Environmental Earth Sciences**, v. 61, p. 1025-1036, 2010.
- SARDINHA, D.S.; BONOTTO, D.M.; GODOY, L.H.; CONCEIÇÃO, F.T.; MORENO, M.M.T. Denudação química e implicações na composição das águas superficiais da bacia do Rio Jáu (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, p. 337-349, 2012.
- SARDINHA, D.S.; CONCEIÇÃO, F.T.; SOUZA, A.D.G.; SILVEIRA, A.; JULIO, M.; GONCALVES, J.C.S.I. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do Ribeirão do Meio (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, p. 222-231, 2008b.
- SPATTI JÚNIOR, E.P.; CONCEIÇÃO, F.T.; GUEDES JUNIOR, E.; PINTO, S. A.F.; PEREIRA, L.H. Balanço entre intemperismo químico e remoção do solo na bacia do ribeirão Monjolo Grande, Ipeúna (SP), determinadas por geoquímica fluvial. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, p. 137-152, 2014.
- SPATTI JÚNIOR, E.P.; CONCEIÇÃO, F.T.; FERNANDES, A.M.; SARDINHA, D.S.; MORUZZI, R.B. Chemical weathering rates of clastic sedimentary rocks from the Paraná Basin in the Paulista Peripheral Depression, Brazil. **Journal of South American Earth Science**, v. 96, p. 102369, 2019.
- STALLARD, R.F. & EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon Basin. 3. Weathering chemistry and limits to dissolved inputs. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 92, p. 8293-8302, 1987.
- TARDY, Y. Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs. **Chemical Geology**, v. 7, p. 253-271, 1971.
- WEST, A.J.; BICKLE, M.J.; COLLINS, R.; BRASINGTON, J. A small catchment perspective on Himalayan weathering fluxes. **Geology**, v. 30, p. 355-358, 2002.
- WEST, A.J.; GALY, A.; BICKLE, M. Tectonic and climatic controls on silicate weathering. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 235, p. 211-228, 2005.
- WHITE, A.F. & BLUM, A.E. Effects of climate on chemical weather in watersheds. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 59, p. 1729-1747, 1995.

Submetido em 17 de março de 2025
Aceito para publicação em 5 de maio de 2025