

Avaliação integrada da proliferação de pequenos barramentos e a suscetibilidade à erosão: a bacia hidrográfica do rio Ivaí, Sul do Brasil

Integrated Assessment of the Proliferation of Small Dams and Erosion Susceptibility: The Ivaí River Watershed, Southern Brazil

Mariana Manrique Tondati¹ 
Eduardo Souza de Moraes² 

Palavras-chave

Barragem
Sedimento
Impacto

Resumo

A proliferação de pequenos barramentos em bacias hidrográficas tem motivado crescente preocupação quanto aos potenciais impactos sobre a conectividade dos sistemas fluviais, principalmente em relação ao transporte de sedimentos, à variabilidade de vazões e à integridade dos habitats aquáticos. Nesse contexto, este estudo investigou a distribuição de barramentos hidrelétricos e áreas com suscetibilidade à erosão, utilizando a bacia do rio Ivaí (PR) como estudo de caso para avaliar implicações geomorfológicas em escala de bacia hidrográfica. O rio Ivaí é o maior rio livre de barramentos no sul do Brasil e também se destaca como o principal afluente não represado do rio Paraná, conferindo-lhe papel estratégico na manutenção hidrosedimentológica e ecológica da bacia do alto rio Paraná. As análises foram realizadas com dados cadastrais de empreendimentos hidrelétricos e técnicas de geoprocessamento com álgebra de mapas. Foram identificados 21 empreendimentos em operação ou autorizados para construção, cujas áreas de drenagem representam 13,7% da bacia, concentrando-se principalmente no alto curso, onde há relevo dissecado, presença de Neossolos e altos índices pluviométricos. Atualmente, o seu curso principal continua livre, porém, há estudos para futuros empreendimentos que ameaçam o canal. A sobreposição entre áreas de alta fragilidade geomorfológica e a concentração de empreendimentos aponta para possíveis riscos cumulativos à dinâmica fluvial. Os resultados evidenciam que, mesmo barramentos de menor porte, quando inseridos em áreas sensíveis, podem comprometer a conectividade fluvial e os processos morfodinâmicos com os efeitos acumulativos. Esse cenário ressalta a necessidade de políticas de planejamento territorial que considerem em suas tomadas de decisão a conservação de sistemas fluviais essenciais à manutenção dos serviços ecossistêmicos.

Keywords

Dam
Sediment
Impact

Abstract

The proliferation of small dams in watersheds has raised growing concerns about their potential impacts on the connectivity of fluvial systems, particularly regarding sediment transport, flow variability, and the integrity of aquatic habitats. In this context, this study investigated the distribution of hydroelectric dams and the erosion susceptibility, using the Ivaí River Watershed, Paraná state, Brazil, as a case study to assess geomorphological implications at the watershed scale. The Ivaí River is the largest free-flowing river in Southern Brazil, and also stands out as the main unregulated tributary of the Paraná River, granting it a strategic role in maintaining the hydro-sedimentological and ecological integrity of the Upper Paraná River watershed. The analyses in the Ivaí River Watershed were conducted using cadastral data from hydroelectric projects and geoprocessing techniques based on map algebra. A total of 21 projects, either operational or approved for construction, were identified. Their drainage areas represent 13.7% of the watershed, mostly concentrated in the upper course, characterised by dissected relief, the presence of Neosols, and high rainfall indices. Currently, its main course remains free-flowing; however, studies for future projects threaten the river integrity. The overlap between areas of high geomorphological vulnerability and project concentration indicates potential cumulative risks to fluvial dynamics. The results show that even smaller-scale dams, when located in sensitive areas, can disrupt fluvial connectivity and morphodynamic processes with cumulative effects. This scenario highlights the need for territorial planning policies that integrate the conservation of fluvial systems essential to maintaining ecosystem services in their decision-making.

INTRODUÇÃO

A construção de barramentos em rios tem sido tema de discussões globais. Uma das principais razões para se estudar os impactos dos barramentos nos rios são as consequentes alterações na carga de sedimentos e na amplitude das vazões (Latrubesse *et al.*, 2017; Guo *et al.*, 2018; Coelho, 2008; Figueiredo; Gomes, 2024; Chong *et al.*, 2021). Os barramentos podem impedir o transporte de mais da metade dos sedimentos, com implicações para a paisagem fluvial (ex. inibição da formação de barras e ilhas), principalmente, a jusante das estruturas (Yang *et al.*, 2022; Quang; Viet, 2023). A conectividade longitudinal do canal, e as demais dimensões da conectividade do fluxo hídrico e sedimentológico (Zanandrea *et al.*, 2020), são drasticamente alteradas pela retenção de sedimentos provocada pelos barramentos. Por exemplo, Latrubesse *et al.* (2017) destacam que barramentos construídos nos rios principais e afluentes, sem previsão de consequências cumulativas, podem acarretar degradação de grande escala. Nesse sentido, não apenas os barramentos no canal principal, mas também nos afluentes, tornam-se potenciais ameaças aos de fluxo de água e sedimentos que sustentam a integridade física e os ecossistemas dos rios.

No Brasil, os barramentos para produção de hidroeletricidade são classificados pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL ([Resolução Normativa ANEEL N° 875, 2020](#)) como Usina Hidrelétrica (UHE), Pequena Central Hidrelétrica (PCH) e Central Geradora Hidrelétrica com Capacidade Instalada Reduzida (CGH). Atualmente, as CGH correspondem a aproveitamentos hidrelétricos cuja potência seja igual ou inferior a 5.000 kW ([Resolução Normativa ANEEL N° 875, 2020](#)). As PCH se enquadram em potência instalada superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, sem especificações quanto ao tamanho do reservatório. Por fim, as UHE, enquadram-se em potência instalada superior a 30.000 kW sujeitos à outorga de autorização, e potência instalada superior a 50.000 kW, sujeitos à outorga de concessão ([Resolução Normativa ANEEL N° 1.070, 2023](#)).

Apesar das diversas pesquisas sobre o impacto dos barramentos de empreendimentos hidrelétricos, ainda há poucos estudos na escala da bacia hidrográfica, principalmente quanto à distribuição e potenciais impactos da proliferação de pequenos empreendimentos em tributários (Csiki; Rhoads, 2010; Fencl *et al.*, 2015; Chong *et al.*, 2021). A CGH e PCH, embora

possuam menor potência instalada, têm recebido atenção recente pelos efeitos deletérios nos sistemas fluviais (Paes *et al.* 2019; Cardoso *et al.*, 2015).

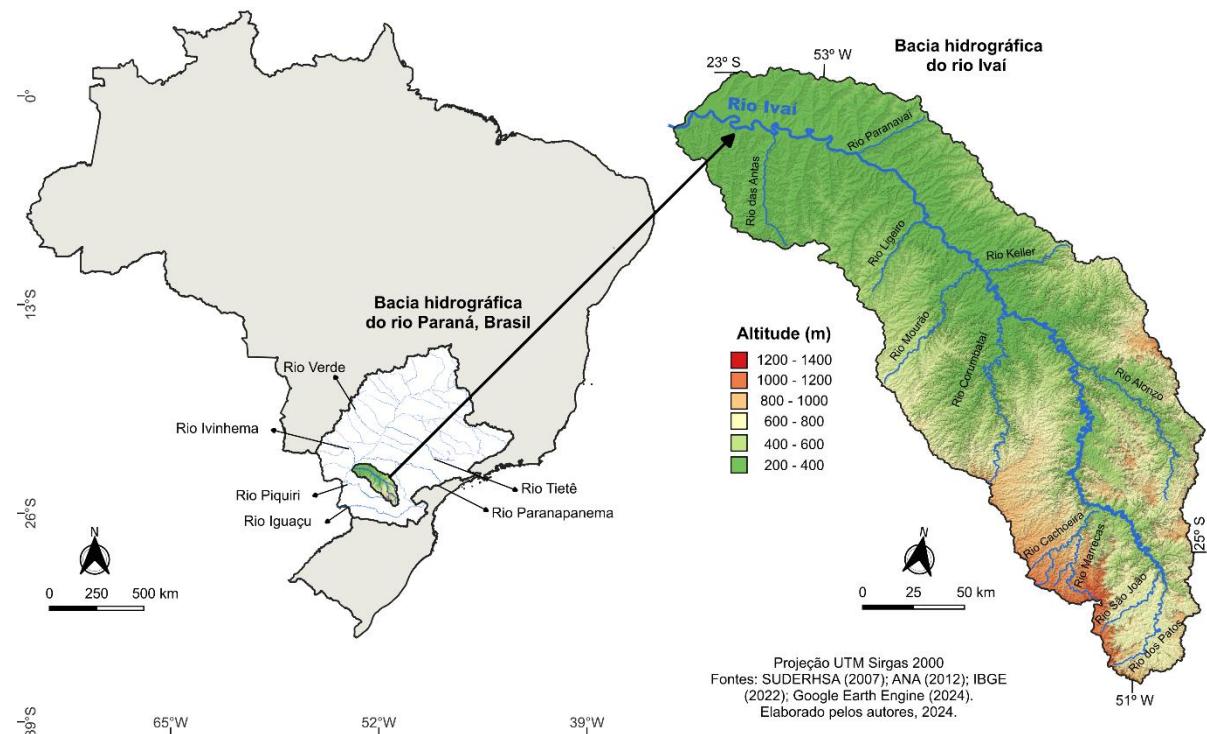
O estado do Paraná, assim como grande parte do Brasil, apresenta características geomorfológicas e hidrológicas favoráveis à instalação de barramentos hidrelétricos. As características dos rios, como declividade e vazão, que viabilizam a geração de energia, situam o Paraná como o terceiro estado com o maior potencial de geração de energia elétrica do país (Kliemann; Delariva, 2015). O rio Ivaí, que possui a maior bacia hidrográfica inteiramente no estado, apresenta alto potencial hidrelétrico e o canal principal livre de barramentos. Entretanto, há uma série de barramentos em operação e em licenciamento em seus tributários. Tal condição diferencia-se de outros rios do sul do Brasil, como os rios Paraná, Uruguai e Iguaçu, cujos barramentos impactaram drasticamente seu funcionamento (Panta *et al.*, 2023; Leli *et al.*, 2017; Rocha, 2010).

Este trabalho tem o objetivo de caracterizar as áreas de influência de barramentos existentes e projetados na bacia hidrográfica do rio Ivaí e, consecutivamente, avaliar a produção de sedimentos nessas áreas a partir da abordagem qualitativa do Potencial Natural à Erosão (PNE). Nesse contexto, considerar a produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Ivaí, em relação aos barramentos hidrelétricos, é essencial para avaliar os impactos associados a essas transformações da paisagem.

ÁREA EM ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Ivaí (Figura 1) possui área de drenagem de 36.587 km², que abrange aproximadamente 20% do território paraense (Fujita, 2009), considerada a segunda maior do estado do Paraná (Fujita, 2009; Santos, 2015). O rio Ivaí é considerado o maior rio genuinamente paranaense, sua área de drenagem está inteiramente em território paranaense, compreendendo 107 municípios (Parolin *et al.*, 2010; ITCG, 2009). A sua formação ocorre a partir da confluência do rio dos Patos com o rio São João, no município de Prudentópolis, sendo o rio dos Patos o seu principal curso de origem (Parolin *et al.*, 2010; Fujita, 2009), e deságua no rio Paraná em uma altitude de 240 m (Fujita, 2009), entre os municípios de Querência do Norte na margem direita e Icaraíma na margem esquerda (Parolin *et al.*, 2010).

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Ivaí na bacia hidrográfica do rio Paraná, Sul do Brasil



Fonte: SUDERHSA (2007); ANA (2012); IBGE (2022); Google Earth Engine (2024). Elaborado pelos autores (2024).

Em termos geológicos, a bacia hidrográfica do rio Ivaí está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná (Santos, 2015), e é representada majoritariamente por rochas do Grupo Caiuá (26,2%), Grupo Serra Geral (47,9 %) e rochas sedimentares das eras Mesozoica e Paleozoica (21,3 %), como as Formações Rio do Rasto, Teresina, Serra Alta e Iratí (Grupo Passa Dois) e Rio Bonito e Palermo (Grupo Guatá) (Bresser et al., 2021). A bacia estende-se entre as zonas subtropical (curso superior) e tropical (cursos médio e inferior), com clima predominante Cfa de Köppen (Santos, 2015; IAPAR, 1994; Parolin et al., 2010). Conforme Santos (2015), o Segundo Planalto Paranaense corresponde ao curso superior da bacia hidrográfica do rio Ivaí, já o Terceiro Planalto Paranaense corresponde aos cursos médio e inferior. As classes pedológicas de solos presentes na área em estudo são: Nitossolo, Latossolo, Neossolo, Argissolo, Cambissolo, Gleissolo e Organossolo (EMBRAPA, 2008).

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em duas etapas: (i) mapeamento e caracterização dos barramentos e suas respectivas áreas de drenagem, com dados da ANEEL (2022; 2023); e (ii) cálculo do Potencial Natural à Perda de Solo, com base nos fatores físicos da Equação Universal de Perda do Solo (EUPs). As análises foram realizadas no sistema informação geográfica QGIS3.22.6 (2022).

Na primeira etapa, foram obtidos dados da ANEEL (2022; 2023) sobre empreendimentos de UHEs, PCHs e CGHs. As áreas de drenagem foram delimitadas a partir do eixo de cada barramento. Os barramentos construídos disponibilizados pela ANEEL (2022; 2023) foram confirmados com imagens de satélite no Google Earth Pro.

Os empreendimentos hidrelétricos de todo o Brasil são disponibilizados em formato *shapefile* por ANEEL (2023). Os empreendimentos da bacia hidrográfica do rio Ivaí foram posteriormente agrupados em estudos e pós estudos. Os empreendimentos em fase de estudos incluem: Eixo Disponível, Despacho de Registro de Intenção à Outorga de Autorização (DRI), Despacho de Registro da Adequabilidade

do Sumário Executivo (DRS). Já os empreendimentos pós estudos são: Construção, Construção Não Iniciada e Operação (ANEEL, 2024).

A classe de Estudos de Inventário Hidrelétrico aprovados identifica aproveitamentos hidrelétricos com potência unitária superior a 5.000 kW e que melhor relação custo - energia. O Eixo Disponível refere-se a empreendimentos identificados em um inventário hidrelétrico aprovado para qualquer interessado realizar o seu estudo. Após essa etapa de estudo de inventário, é necessário que o interessado indique quais locais de aproveitamento hidrelétrico ele tem interesse em aprofundar os estudos com a visão de buscar a outorga do empreendimento. Para isso, isso ocorra, é necessária autorização da ANEEL (2024).

Os empreendimentos com potência inferior a 50.000 kW (PCHs e UHEs Autorizadas) necessitam de projeto básico, e a autorização é concedida por meio emissão do Despacho de Registro de Intenção à Outorga de Autorização (DRI – PCH ou DRI – UHE). O Projeto Básico, com outros documentos, compõe o Sumário Executivo, entregue à ANEEL. Se o Sumário estiver compatível com os Estudos de Inventário Hidrelétrico e o uso do potencial hidráulico, será publicado o DRS*. O DRS permitir à ANEEL solicitar a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH), e ao interessado solicitar o Licenciamento Ambiental junto aos órgãos competentes, com a possibilidade de antecipação das ações imediatamente após a publicação do DRI, quando aplicável. Após a obtenção da DRDH e do Licenciamento Ambiental, é emitida a outorga de autorização com vigência de 35 anos (ANEEL, 2024).

Na segunda etapa, foi elaborado o mapa de Potencial Natural à Erosão (PNE). A metodologia baseou-se na Equação Universal de Perda de Solo (EUPs) (Wischmeier; Smith, 1978), utilizando os fatores físicos R (erosividade), LS (topográfico) e K (erodibilidade), com base nas metodologias de Bloise *et al.* (2001), Silva; Ferreira (2022), Marinho Filho (2013) e Pedro; Lorandi (2004).

Fator R (Erosividade)

Os valores de precipitação média mensal e anual da bacia hidrográfica do rio Ivaí foram obtidos a partir de dados raster da NASA (2022). Após o tratamento dos dados, aplicou-se uma equação de Rufino *et al.* (1993), que apresenta oito fórmulas lineares para estimar a erosividade das chuvas em diferentes regiões do Paraná, a

qual foi adaptada neste trabalho com base em Terassi *et al.* (2018), utilizada para calcular a erosividade da bacia hidrográfica do rio Ivaí:

$$R = 19,55 + 4,20 \cdot \left(\frac{p^2}{P} \right) * 9,80665 \quad (1)$$

Em que:

p= precipitação média mensal (mm).

Fator K (Erodibilidade do solo)

Foi utilizada a camada vetorial de solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2008), na escala 1:250.000. A erodibilidade relaciona-se à capacidade dos solos, conforme suas propriedades físicas, de resistirem à erosão (Bertoni; Lombardi Neto, 2005). Assim, foram atribuídos valores de erodibilidade às classes de solos de 1ª ordem presentes na bacia do rio Ivaí, com base em Melo (2017). Os valores variam de 0,14 a 0,47, para as seguintes classes: Latossolo (textura argilosa), Nitossolo, Latossolo (textura média), Cambissolo, Argissolo, Gleissolo, Organossolo e Neossolo.

Fator LS (Topográfico)

Para o cálculo do fator LS, utilizou-se o software SAGA com a função LS factor (one step), com a metodologia de Desmet; Govers (1996). A escolha baseou-se em Zanin *et al.* (2017), que, ao compararem os métodos de Desmet; Govers (1996) e Moore *et al.* (1991), indicaram o primeiro como mais adequado por oferecer melhor detalhamento do relevo e menor desvio padrão. Outros autores, como Farinasso *et al.* (2006), Mata *et al.* (2007) e Graça *et al.* (2015), também adotaram essa metodologia, direta ou indiretamente. Para a execução, foi utilizada a camada raster de hipsometria da bacia hidrográfica do rio Ivaí (dados SRTM, Projeto Topodata – INPE, 2011), com aplicação da opção “SinkRemoval” para correção de depressões.

Álgebra de mapas - Potencial Natural à Erosão (PNE)

Para o PNE, foi realizada a reamostragem (média) dos pixels nos rasters dos fatores R e LS. Em seguida, utilizou-se a calculadora raster para aplicar a equação (2), adaptada de Sampaio (2019), padronizando diretamente os fatores R, LS e K para o intervalo de 0 a 1. Por fim, os fatores foram multiplicados.

$$Vp = V - \frac{V_{min}}{V_{max}} - V_{min} \quad (2)$$

Em que:

V_p = Variável a ser padronizada

V = Valor que se deseja padronizar

V_{\min} e V_{\max} = valores mínimos e máximos da série de dados

Para definir a quantidade de classes foi utilizado o método adaptado de Sturges (1926), exemplificado por Sampaio (2019), que deu origem a cinco classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

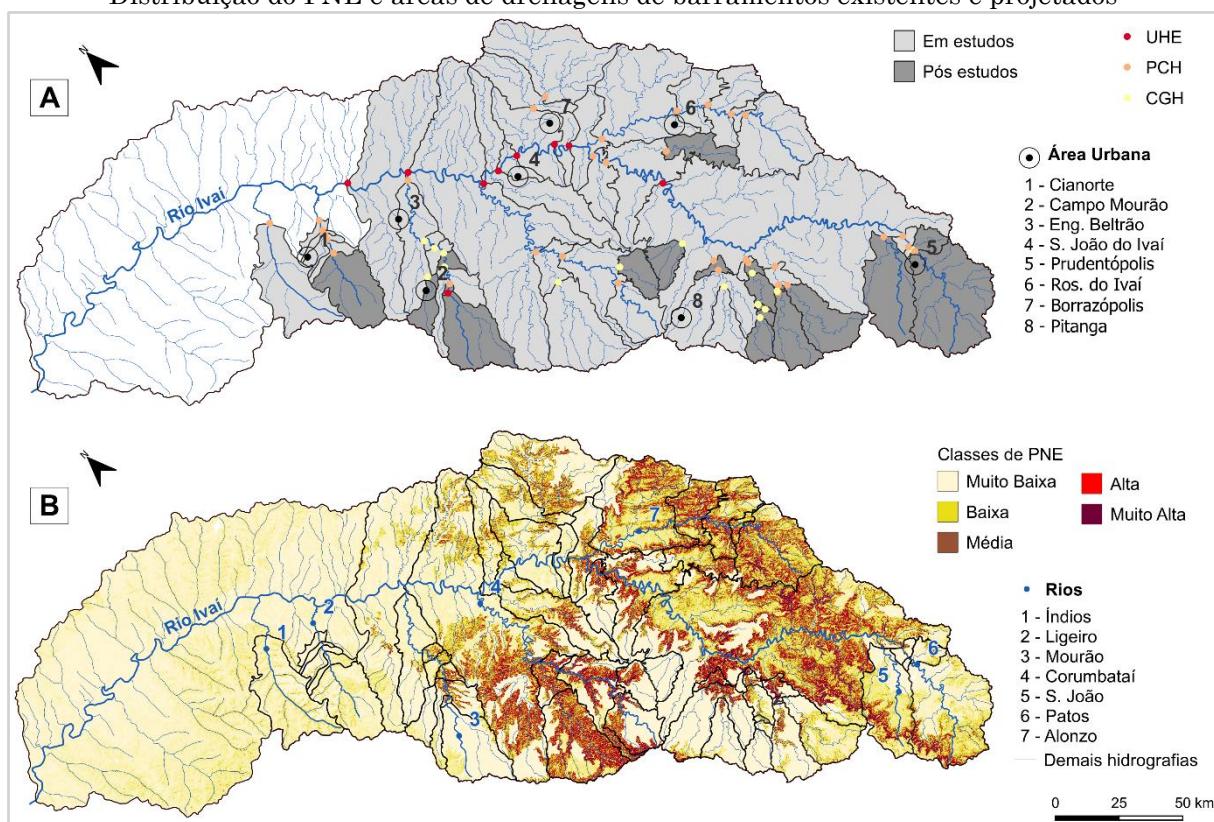
RESULTADOS

A bacia hidrográfica do rio Ivaí possui atualmente 16 barramentos em fase de operação, sendo: dez CGHs, cinco PCHs e uma UHE. As áreas de drenagem destes barramentos representam 12,6% (4.626km²) da área da bacia hidrográfica. Além desses empreendimentos, existem outros cinco que se encontram na fase pós-estudos, ou seja, aptos para serem construídos. Portanto, considerando o acréscimo desses que já estão aprovados, a influência dos barramentos alcançará em breve 13,7% da bacia hidrográfica do rio Ivaí (Figura 2-A). Estes empreendimentos, construídos e em planejamento, estão inseridos na unidade hidrográfica do Alto rio Ivaí, com exceção de uma PCH que futuramente estará localizada no baixo curso da bacia hidrográfica.

Considerando um cenário potencial diante das solicitações de licenciamentos, portanto, hipotético, os 36 empreendimentos em fase de estudos representam um acréscimo de 56,8% na área da bacia hidrográfica do rio Ivaí (Figura 2-A). Com o adendo destas solicitações ao cenário atual, à área de drenagem na bacia hidrográfica com influência de barramentos alcançaria 70,5%. Com a avaliação da distribuição espacial do cenário potencial nota-se que há um avanço dos pedidos de licenciamento de barramentos em direção ao baixo curso do rio Ivaí.

A Figura 2 - B demonstra as classes de PNE para a bacia hidrográfica do rio Ivaí, condicionada principalmente pela morfologia do relevo, e os locais de maior declividade apresentam os maiores potenciais de erosão. No alto curso, concentram-se a maior parte dos barramentos atuais e aqueles ainda estão em construção ou licenciamento. A região possui relevo de planalto e rochas sedimentares paleozoicas, como as Formações Rio do Rasto e Teresina. Conforme as isoietas de precipitação do Serviço Geológico do Brasil – SGB (2011), período entre 1977-2006, as maiores médias (1600-1800mm) ocorrem nessa região. As classes pedológicas presentes são o Argissolo, Latossolo, Nitossolo, Neossolo e Cambissolo, sendo que as áreas de maiores valores de PNE estão principalmente associadas aos Neossolos (EMBRAPA, 2008). O uso do solo nessa região do alto curso é predominante destinado a cultura temporária (soja), formação florestal, silvicultura, pastagem, entre outros (MAPBIOMA, 2024).

Figura 2 – Resultados: A) Cenário com os barramentos em fase de estudos e pós estudos B) Distribuição do PNE e áreas de drenagens de barramentos existentes e projetados



Fonte: ANEEL (2022; 2023). Elaborado pelos autores (2024).

A margem direita da bacia hidrográfica do Alto rio Ivaí, com especial atenção a sub-bacia hidrográfica do rio Alonso, apresenta as maiores ocorrências das classes alta e muito alta de PNE, local onde há empreendimentos hidrelétricos em fase de estudos. A margem esquerda, é bastante relevante os valores de PNE próximo aos rios Corumbataí, dos Patos e São João. O rio Mourão, afluente da margem esquerda, ainda no alto curso, apresenta altas classes de PNE próximo a sua foz e possui barramentos em operação e, outros que estão em fase de estudos.

DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do rio Ivaí apresenta barramentos destinados à geração de energia elétrica que influenciam uma porção expressiva da sua área (12,6 %). De acordo com Kliemann; Delariva (2015), a bacia hidrográfica do rio Ivaí possui 28,13% das PCHs construídas e inventariadas do estado do Paraná, que juntamente com a bacia do rio Paraná, são as que apresentam maior número de pequenas hidrelétricas construídas no Brasil.

As barragens em operação no rio Ivaí estão localizadas no alto curso da bacia hidrográfica.

Porém, os empreendimentos em licenciamento ou ainda não construídos avançam em direção ao baixo curso. Por exemplo, o rio Ligeiro, importante afluente do baixo curso, possui uma PCH aprovada para construção e outras cinco que estão em fase de estudos. Quanto ao canal principal do rio Ivaí, que passa a receber esta denominação a partir da junção dos rios dos Patos e São João, sabe-se que não há barramentos no curso principal. Entretanto, há um estudo geomorfológico que indica a nascente do rio Ivaí associada ao afluente de maior extensão, que neste caso é o rio dos Patos (Fujita, 2009). A partir dessa perspectiva, o rio Ivaí apresenta dois barramentos em seu curso principal devido a presença de uma PCH e uma CGH no rio dos Patos.

Em relação ao potencial natural a erosão na bacia hidrográfica, as sub-bacias dos rios Corumbataí e Alonso, localizadas em áreas com a presença das classes alta e muito alta para produção de sedimentos, destacam-se entre as maiores contribuintes do rio Ivaí. Considerando esses principais afluentes, mesmo que o rio Alonso não possua barramento atualmente, existem vários empreendimentos que estão em fase de estudos. Além disso, para Leli *et al.* (2017) os rios Corumbataí, Mourão, Marrecas, Cachoeira e dos Patos são importantes para a

bacia hidrográfica do rio Ivaí pela contribuição de descarga de água e carga suspensa, sendo a bacia hidrográfica do rio Corumbataí responsável pelas maiores descargas de água. Apesar do rio Corumbataí não ter nenhum barramento, há um barramento de uma CGH no rio Bocó, que é um de seus afluentes. O rio Mourão, um dos principais afluentes, possui uma UHE, uma PCH e uma CHG, além de uma CGH em seu afluente rio do Campo e outros que se encontram em fase de estudos.

A maior carga de sedimento suspenso do rio Ivaí provém das bacias hidrográficas dos rios Corumbataí, Mourão, Ligeiro, dos Patos e das Antas, principais afluentes da margem esquerda (Leli *et al.*, 2017), influenciados por barramentos. Segundo Souza *et al.* (2013), a margem esquerda do rio Ivaí forma um bloco alto, de acordo com os perfis e padrões de drenagens, e Leli *et al.* (2017) consideram que estas características condicionam à maior erosão desta margem. Assim, o rio Ivaí transporta cinco vezes mais sedimentos que o rio Paraná (Barros, 2006), o que mantém suas águas turvas, o que lhe confere manutenção da integridade física e a preservação ecológica. Por outro lado, o rio Paraná já perdeu parte das suas características naturais, devido à grande sequência de barragens que retém seus sedimentos.

Para Leli *et al.* (2017), as maiores descargas de vazões específicas correspondem aos rios Marrecas (margem esquerda do Ivaí) e Cachoeira, afluente do Marrecas, ambos com barramentos, uma PCH e uma CGH, respectivamente. Há uma ampla evidência de que a construção de barramentos em rios troncos ou até mesmo em seus afluentes, sem a previsão de consequências cumulativas, leva à degradação em grande escala (Latrubesse *et al.*, 2017). Há uma percepção, por parte de empreendedores, que as pequenas barragens geram pequenos danos ambientais ao sistema, ou seja, trata-se de uma construção de pequena escala então os impactos também serão de pequena escala. Porém, devido à forte generalização dessa perspectiva e o aumento da dispersão de pequenas barragens, verifica-se que os problemas ambientais relacionados não seriam menos numerosos e graves que os empreendimentos maiores (Abbasi; Abbasi, 2011). Portanto, mesmo barramentos fora do curso principal de uma bacia hidrográfica podem causar degradação severa.

Os rios Ligeiro e das Antas, no alto curso do rio Ivaí, destacam-se pela contribuição de carga suspensa (Leli *et al.*, 2017), e estão em regiões de PNE muito baixa e baixa. Em contrapartida, Melo (2017), indica que algumas áreas do baixo

curso apresentam consideráveis valores de produções de sedimentos. Por exemplo, próximas ao município de Cianorte, existem barragens autorizadas a serem construídas e outras também em fase de estudos. Destaca-se o avanço dos empreendimentos para a região do Arenito Caiuá, onde ocorrem as maiores taxas de escoamento superficial, devido aos fortes processos erosivos sobre os solos que advém dessas rochas (Santos *et al.* 2013).

Além dos impactos geomorfológicos, a instalação de barramentos também gera impactos sociais, culturais e econômicos. A bacia hidrográfica do rio Ivaí abrange mais de cem municípios e alguns destes populosos, como Maringá, Guarapuava e Campo Mourão. Além disso, há comunidades tradicionais (Faxinalenses e Quilombolas), povos indígenas (Kaingang, Guarani e Xetá), que dependem diretamente do rio Ivaí e de seus afluentes. Como grande parte do seu fluxo ainda é livre de barramentos, famílias deslocadas por reservatórios construídos nos rios Paraná, Paranapanema ou Iguaçu ainda vivem na região (Azevedo *et al.*, 2016). Entre os grupos sociais diretamente afetados destacam-se os pescadores artesanais e as famílias assentadas da reforma agrária, com concepções particulares de território (Albuquerque; Sauer, 2021). Nesse contexto, surgem intensas discussões, como as do “Movimento Pró Ivaí/Piquiri”, equipe interdisciplinar que atua contra a implementação de novas barragens no rio, visando a preservação ambiental e social (Schirmer *et al.*, 2018).

CONCLUSÕES

A análise dos barramentos existentes e projetados na bacia hidrográfica do rio Ivaí contribui para o conhecimento da distribuição espacial dessas intervenções e das respectivas características geográficas das áreas de drenagem em que há limitação ou alteração de fluxo hidrológico e sedimentológico. A aplicação do Potencial Natural à Erosão (PNE) contribui para identificar áreas da bacia mais vulneráveis à intervenção antrópica, que neste caso concentram-se no alto curso. O estudo demonstra que há barramentos existentes, e em análise, em rios estratégicos para o equilíbrio hidrossedimentológico da bacia hidrográfica. Considerando que os barramentos, ainda que de menores dimensões (PCHs e CGHs), limitam o transporte de sedimentos e alteram a variabilidade da vazão, o que resulta em severas implicações geomorfológicas e ecológicas,

reforça-se a necessidade de estratégias de gestão que considerem os efeitos acumulativos dessas estruturas sobre a integridade física e ecológica dos rios. Neste contexto, o estudo reitera que, em bacias ainda parcialmente livres de barramentos, a contenção da expansão de novos empreendimentos pode ser uma estratégia relevante para mitigar as alterações do fluxo de sedimentos e da dinâmica de vazão, que podem ser críticos aos serviços ecossistêmicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos pareceristas pelas valiosas observações e sugestões, que contribuíram para o aprimoramento do artigo, bem como à equipe editorial da revista pelo suporte prestado durante o processo de avaliação.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S.A. Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 4, p.2134-2143, 2011. Elsevier
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.050>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Painel de dados sobre empreendimentos de geração – SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO DA ANEEL (SIGA). 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNGE3NjVmYjAtNDFkZC00MDY4LTliNTItMTVkZTU4NWYzYzFmIwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIIsImMiOjR9>. Acesso em: 24 jan. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Outorgas de geração. Brasília: ANEEL, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao/outorgas>. Acesso em: 17 jun. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). SIGEL - Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico. Brasília: ANEEL, 2022. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/Down/>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). SIGEL - Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico. Brasília: ANEEL, 2023. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br/Down/>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- ALBUQUERQUE, R. de. M.; SAUER, S. Conflitos por terra e território provocados pelas eletroestratégias nas bacias dos rios Ivaí e Piquiri – PR. In: SAUER, S.; SILVA, A. L. da; DUARTE, L. M. G. (org.). *Reflexões sobre meio ambiente e desenvolvimento rural*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2021. p. 15–38.
<https://doi.org/10.26512/9786558460237.c1>
- ANA – Agência Nacional de Águas. *Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2012*, 2012. Disponível em: <https://metadados.snhr.gov.br/geonetwork/srv/arp/records/1a2dfd02-67fd-40e4-be29-7bd865b5b9c5>. Acesso em: 30 jan. 2022.
- ATLAS GEOLÓGICO DO ESTADO DO PARANÁ. Curitiba: Mineropar. 2001.
- AZEVEDO, R. F.; MIRANDA, L. E.; GOMES, L. C. Contestando barragens prejudiciais: um estudo de caso do sul do Brasil. *Revista Internacional de Gestão de Bacias Hidrográficas*, v. 14, n. 2, p. 205–217, 2016.
<https://doi.org/10.1080/15715124.2016.1159569>
- BARROS, C. S. *Dinâmica sedimentar e hidrológica na confluência do rio Ivaí com o rio Paraná, município de Icaraíma- PR*. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006. 69 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- BLOISE, G. de. L. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de.; REATO, A.; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. de. S.; CARVALHO, A. P. F. de. Avaliação da Suscetibilidade Natural à Erosão dos Solos da Bacia do Olaria – DF. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Embrapa Cerrados*, Planaltina, n. 14, p. 1-33, 2001.
- BRESSER, M. L., BRUMATTI, M., SPISILA, A. L. (2021). *Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Paraná*. Escala 1:600.000. Curitiba: SGB-CPRM. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22492>. Acesso em: 20 set. 2025.
- CARDOSO, O. R.; ROCHA, N. S. da; XAVIER, R. A.; VALDUGA, E. T.; DISCONZI, G.; RADTKE, L.; CRUZ, R. C. Análise de fragilidade ambiental na bacia do rio Pardo - RS, frente à instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 2, p. 507–522, abr./jun. 2015.
<https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n2.p507-522>
- CHIRMER, D. G.; MONTENEGRO, D. H.; AZEVEDO, R. F. de. Viva os rios: Movimento Pró Ivaí/Piquiri. Transformando o mundo, ed. 2, 14 dez. 2018. *Revista Bioika*. Disponível em: <https://revistabioika.org/assets/multimedia/docs/es/revisiones/mirtha.angulo@revistabioika.org/20181124114347-ed2-pub2-transformandoomundo-schirmer-et-al-texto-pt.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2024.

- CHONG, X. Y.; VERICAT, D.; BATALLA, R. J.; TEO, F. Y.; LEE, K. S. P.; GIBBINS, C. N. Uma revisão dos impactos das barragens na hidromorfologia de rios tropicais. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v. 794, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148686>
- COELHO, A. L. N. Geomorfologia Fluvial de Rios Impactados por Barragens. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 26, p. 16–32, 2008 <https://doi.org/10.14393/RCG92615721>
- CSIKI, S.; RHOADS, B. L. Efeitos hidráulicos e geomorfológicos de barragens a fio d'água. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 34, n. 6, p. 755–780, 2010. <https://doi.org/10.1177/0309133310369435>
- DESMET, P. J. GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, n. 51, p. 427-433, 1996. <https://doi.org/10.1080/00224561.1996.12457102>
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Paraná - Solos (2008)**: Metadados. GeoInfo Embrapa. Disponível em: https://geoinfo.dados.embrapa.br/datasets/geoinfo_data:geonode:brasil_solos_5m_20201104/meta_data_detail. Acesso em: 13 jul. 2024.
- FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação Qualitativa do Potencial de Erosão Laminar em Grandes Áreas por Meio da EUPS Equação Universal de Perdas de Solos Utilizando Novas Metodologias em SIG para os Cálculos dos seus Fatores na Região do Alto Parnaíba PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, 2006. <https://doi.org/10.20502/rbg.v7i2.80>
- FENCL, J. S.; MATHER, M. E.; COSTIGAN, K. H.; DANIELS, M. D. How Big of an Effect Do Small Dams Have? Using Geomorphological Footprints to Quantify Spatial Impact of Low-Head Dams and Identify Patterns of Across-Dam Variation. **Plos One**, Estados Unidos, v.10, n.11, p. 1-22, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141210>
- FIGUEIREDO, F. T.; GOMES, P. V. O. Efeitos de barragens em barras fluviais do baixo Rio São Francisco: dinâmica morfosedimentar e implicações para interpretação de rios antigos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 25, n. 2, 2024. <https://doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v25i2.2495>
- FUJITA, R. H. **O Perfil Longitudinal do Rio Ivaí e sua Relação com a Dinâmica de Fluxos**. Tese (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual De Maringá, Maringá, 2009. 118p.
- GOOGLE. **Google Earth Engine**, 2024. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acesso em: nov. 24 2024.
- GRAÇA, C. H.; PIZA, M. A.; PASSIG, F. H.; CARVALHO, K. Multitemporal analysis of estimated soil loss for the river Mourão watershed, Paraná – Brazil. **Revista brasileira de biologia**, v.75, 2015. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.00613suppl>
- GRILL, G.; LEHNER, B.; L'VOVITCH, E.; MACDONALD, G. K.; PYNE, M. I.; REHDER, B.; SHIRLEY, R.; TODD, M.; YILLIA, P.; ZARFL, C.; REID, H. An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. **Plos One**, v. 10, n. 10, p. e0141210, 2015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/015001>
- GUO, C.; JIN, Z.; GUO, L.; LU, J.; REN, S.; ZHOU, Y. On the cumulative dam impact in the upper Changjiang River: Streamflow and sediment load changes. **Catena**, v. 184, 104250, 2020. ISSN 0341-8162. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104250>
- GUO, L.; SU, N.; ZHU, C.; HE, Q. How have the river discharges and sediment loads changed in the Changjiang River basin downstream of the Three Gorges Dam? **Journal of Hydrology**, v. 560, p. 259–274, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.035>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal**, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- IAPAR. Instituto Agronômico do Paraná () . 1994. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina. 1994.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE, 2011. **Projeto TOPODATA [online]**. São José dos Campos. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG). **Produtos cartográficos**, 2009. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 22 out. 2021.
- KLIEMANN, B. C. K.; DELARIVA, R. L. Pequenas Centrais Hidrelétricas: Cenários e Perspectivas no Estado do Paraná. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 274–283, 2015. <https://doi.org/10.5902/2179460X17111>
- LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E. Y.; DUNNE, T.; PARK, E.; BAKER, V. R.; D'HORTA, F. M.; WIGHT, C.; WITTMANN, F.; ZUANON, J.; BAKER, P. A.; RIBAS, C. C.; NORGAARD, R. B.; FILIZOLA, N.; ANSAR, A.; FLYVBJERG, B.; STEVAUX, J. C. Represamento dos rios da bacia amazônica. **Nature**, v. 546, p. 363–369, 2017. <https://doi.org/10.1038/nature22333>
- LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; CREMON, Édipo H.; DA NÓBREGA, M. T. River functioning analysis from suspended sediment and water discharge

- study: the case of the Ivaí river, southern Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 2017. <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1139>
- PROJETO MAPBIOMAS – Coleção [9] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. 2024. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 12 dez. 2024.
- MARINHO FILHO, G. M. **Avaliação do potencial natural de erosão na bacia hidrográfica do rio Formoso através da aplicação da Equação Universal de Perda de Solo.** Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins, Palmas. 2013. 52p.
- MATA, C. L.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; DE CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, Éder de S.; GUIMARÃES, R. F. Avaliação Multitemporal da Susceptibilidade Erosiva na Bacia do Rio Urucuia (Mg) Por Meio da Equação Universal de Perda de Solos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, 2007. <https://doi.org/10.20502/rbg.v8i2.94>
- MELO, O. A. de. **Modelagens hidrológicas aplicadas à análise do escoamento superficial da bacia do rio Ivaí – PR.** 2017. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017. 120 p.
- MOORE, I. D. BURCH, G. J. Modeling erosion and deposition: Topographic effects. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, n. 29, p. 1624-1640, 1986. <https://doi.org/10.13031/2013.30363>
- MOORE, I. D., GRAYSON, R. B., LADSON, A.R. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, vol.5, n.1, p. 3-30, 1991. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
- NASA. **Precipitation climatology.** 2022. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/data/imerg/precipitation-climatology#grandaverageprecipitationclimatology>. Acesso em: 10 out. 2022.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 875, DE 10 DE MARÇO DE 2020. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2020. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020875.pdf>. Acesso em: 22 de ago. de 2021.
- RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.079, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2023. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231079.pdf>. Acesso em: 10 de set. de 2025.
- PAES, R. P. de; COSTA, V. A. F.; FERNANDES, W. dos S. Effects of small hydropower plants in cascade arrangement on flow cycle patterns. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, 2019. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180140>.
- PANTA, G.; SANTOS, M. E. F.; MELO, J. H. S. de; MONTEIRO, K. de A.; LELI, I. T. Morphohydraulic of a dam-impacted large river: The São Francisco River, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 121, 104167, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104167>
- PAROLIN, M.; GUERREIRO, R. L.; KUERTEN, S.; MENEZEZ, H. R. Bacias hidrográficas paranaenses. In: PAROLIN, M.; VOLKMER-RIBEIRO, C.; LEANDRINI, J. A. (org.) **Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas do Estado do Paraná.** Campo Mourão: Editora da Fecilcam, 2010. p. 59-104.
- PEDRO, F. G.; LORANDI, R. Potencial Natural de Erosão na área periurbana de São Carlos – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.56. p. 28 – 33. 2004. <https://doi.org/10.5380/raega.v39i0.40661>
- QGIS Development Team. **QGIS GeographicInformation System** (Versão 3.22.6). 2022. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/. Acesso em: 10 jul. 2022.
- QUANG, N. H.; VIET, T. Q. Long-term analysis of sediment load changes in the Red River system (Vietnam) due to dam-reservoirs. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 51, p. 48–66, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2023.10.002>
- ROCHA, Paulo César. Indicadores de Alteração Hidrológica no Alto Rio Paraná: Intervenções Humanas e Implicações na Dinâmica do Ambiente Fluvial / Indicadores de Alteração Hidrológica na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Paraná: Intervenções Humanas e Implicações para a Dinâmica do Ambiente Fluvial. **Sociedade & Natureza**, v. 1, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000100014>
- RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.M.; MERTEN, G.H., 1993. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 439-444.
- SAGA GIS. **Saga System for Automated Geoscientific Analyses** (Versão 7.8.2). 2022. Disponível em: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>. Acesso em: 10 jul. 2022.
- SAMPAIO, T. **Cartografia Temática.** 2019. 1. ed. Curitiba: Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFPR, 2019. Disponível em: <http://www.prppg.ufpr.br/site/ppggeografia/pb/2019/04/05/livro-cartografia-tematica/>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- SANTOS, M. L.; MORAIS, E. S.; SILVEIRA, H.; ALVES, F. C. Estudo do escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Ivaí, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de**

- Geomorfologia**, v. 14, n. 3, 2013. <https://doi.org/10.20502/rbg.v14i3.286>
- SANTOS, V. C. Ambientes De Confluência No Contexto Da Rede De Drenagem: Exemplo da bacia hidrográfica do rio Ivaí – Estado do Paraná.** 2015. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Rio Claro, Rio Claro, 2015.
- SCHIRMER, D. G.; MONTENEGRO, D. H.; AZEVEDO, R. F. de. Viva os rios: Movimento Pró Ivaí/Piquiri. **Revista Bioika**, 2. ed., p. 1-5, 2018. Disponível em: <https://revistabioika.org/pt/transfomando-o-mundo/post?id=34>. Acesso em: 12 jun. 2024.
- SGB – Serviço Geológico do Brasil. Levantamento da geodiversidade: projeto atlas pluviométrico do Brasil: isóietas anuais médias: período 1977 a 2006. 2011. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22220>. Acesso em: 15 jan. 2022.
- SILVA, J. V. F; FERREIRA, V. de O. Suscetibilidade à erosão laminar na bacia hidrográfica do ribeirão Douradinho, no Triângulo Mineiro. **Caderno de Geografia**, v. 32, n. 68, p. 1-21 2022. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2022v32n68p1>
- SOUZA JUNIOR, M. D.; DOS SANTOS, M. L.; SALAMUNI, E.; STEVAUX, J. C.; MORALES, N. Análise morfotectônica da bacia hidrográfica do rio Ivaí-PR, curso inferior. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, 2013. <https://doi.org/10.20502/rbg.v14i2.380>
- STURGES, H. A. The choice of a class interval. **Journal of the american statistical association**, New York, v. 21, n. 153, p. 65–66, 1926. <https://doi.org/10.1080/01621459.1926.10502161>
- SUDERHSA. Mapas e Dados Espaciais, 2007. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- TERASSI, P. M. de B.; CORREA, M. G. G.; GALVANI, E. Avaliação do Potencial Erosivo das Chuvas em anos de Ocorrência do Fenômeno El Niño - Oscilação Sul na Bacia Hidrográfica do Rio Piquiri-Paraná. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 30, 2018. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i30.50386>
- WISCHMEIER, H. W.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide planning**. Washington, DC: USDA, 1978. 58 p.
- YANG, Y.; ZHENG, J.; ZHU, L.; ZHANG, H.; WANG, J. Influence of the Three Gorges Dam on the transport and sorting of coarse and fine sediments downstream of the dam. **Journal of Hydrology**, v. 615, p. 128654, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128654>
- ZANANDREA, F.; PAUL, L. R.; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M.; ZANINI, A. da S.; ABATTI, B. H. Conectividade dos sedimentos: conceitos, princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1754>
- ZANIN, P. R.; BONUMÁ, N. B.; MINELLA, J. P. G. Determinação do fator topográfico em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 2017. <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1023>

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Mariana Manrique Tondati: Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Design da apresentação de dados e Redação - revisão e edição; Eduardo Souza de Moraes: Conceitualização, Supervisão e Redação - revisão e edição.

EDITOR ASSOCIADO: Silvio Carlos Rodrigues. 

DISPONIBILIDADE DE DADOS: Os dados que fundamentam os resultados deste estudo poderão ser disponibilizados pelo autor correspondente, mediante solicitação devidamente justificada [Mariana Manrique Tondati].



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.