

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**AVULSÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUIRAÍ, MS: UMA  
RESPOSTA DA CONECTIVIDADE DE EROSÕES NAS VERTENTES?**

Maringá,

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**AVULSÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUIRAÍ, MS: UMA  
RESPOSTA DA CONECTIVIDADE DE EROSÕES NAS VERTENTES?**

Débora Janaína Taça

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Coordenação de TCC  
do Departamento de Geografia sob  
orientação do Prof. Eduardo Souza  
de Moraes

Maringá,  
2024

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus por me ter concedido sabedoria, força e saúde para enfrentar os desafios desta etapa.

Agradeço ao professor Dr. Eduardo Souza de Moraes, cuja orientação foi fundamental nesta desafiadora jornada.

Ao professor Dr. José Américo Marques, que me auxiliou em questões relacionadas ao geoprocessamento.

Ao meu querido irmão, Diego Henrique Taça, que me ajudou com as tarefas cotidianas, aliviando minha carga e proporcionando momentos de leveza e descontração.

Aos meus amados pais, Eliane Malvezzi e Sergio Aparecido Taça, pelo apoio incondicional e por me incentivarem a estudar desde pequena.

Ao meu namorado, João Vitor De Pieri Piedade, por sempre estar ao meu lado, me incentivar, e principalmente, por compreender meus momentos de ausência.

Aos meus amigos da graduação que caminharam comigo, e aos meus amigos de longa data que sempre estiveram ao meu lado.

Meus agradecimentos se estendem a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha jornada acadêmica, incluindo todos os meus professores da graduação.

## **RESUMO**

A avulsão é um processo geomorfológico que altera o curso natural do rio. A mudança pode decorrer de fatores intrínsecos, naturais e/ou antrópicos. Em relação aos fatores antrópicos, ainda há pouco conhecimento sobre como a erosão nas vertentes pode influenciar a mudança do rio por meio de um processo de avulsão. A bacia hidrográfica do rio Guiraí, localizada no estado de Mato Grosso do Sul, é um exemplo de relação entre os processos erosivos da vertente e as mudanças no canal fluvial. Neste estudo foram identificados 65 feições erosivas lineares e 15 processos de avulsão, com imagens do Google Earth Pro entre 2000 e 2024. Os resultados sugerem que as avulsões no rio Guiraí estão associadas com o assoreamento, causado por um alto número de erosão nas áreas de drenagem da bacia hidrográfica. As erosões nas vertentes são intensificadas por práticas agrícolas inadequadas, que promovem a degradação do solo e aumentam a sedimentação nos rios através da conectividade lateral e longitudinal. Grande parte das erosões iniciou antes de 2005 e algumas seguem ativas, enquanto as avulsões ocorreram entre 2010 e 2020, indicando possível correlação entre os processos. A maioria das avulsões ocorrem por incisão ou anexação, e se tornam completas em 4 a 11 anos. Esses processos se concentram em trechos de transição do médio para o baixo curso. A análise dos processos de avulsão na bacia hidrográfica do rio Guiraí revelou dois agrupamentos sequenciais de avulsões, relacionada a duas áreas de drenagem da bacia hidrográfica com alta concentração de erosão a montante. O estudo contribui para realçar as possíveis extensões dos impactos do manejo inadequado do solo agropecuário, especialmente com a indução de mudanças nos processos e morfologia de rios.

**Palavras-chave:** Mudança de canal, erosão, avulsão.

## **ABSTRACT**

Avulsion is a geomorphological process that alters the natural course of a river. The change can result from intrinsic, natural, and/or anthropogenic factors. Regarding anthropogenic factors, there is still limited knowledge on how erosion on the slopes can influence river change through an avulsion process. The Guiraí River basin, located in the state of Mato Grosso do Sul, is an example of the relationship between erosive processes on the slopes and changes in the river channel. This study identified 65 linear erosion processes and 15 avulsion events using Google Earth Pro images from 2000 to 2024. The results suggest that avulsions in the Guiraí River are associated with sedimentation, caused by a high number of erosions in the drainage areas. Slope erosions are intensified by inadequate agricultural practices, which promote soil degradation and increase sedimentation in rivers through lateral and longitudinal connectivity. A large portion of the erosions began before 2005 and some remain active, while the avulsions occurred between 2010 and 2020, indicating a possible correlation between the processes. Most avulsions occur through incision or annexation, becoming complete in 4 to 11 years. These processes are concentrated in transition sections from the middle to the lower course. The analysis of avulsion processes in the Guiraí River basin revealed two sequential clusters of avulsions, related to two drainage areas with a high concentration of upstream erosion. The study contributes to highlighting the potential extent of the impacts of inadequate agricultural soil management, particularly in inducing changes in river processes and morphology.

**Keywords:** Channel change, erosion, avulsion.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	6
2. PRESSUPOSTO.....	7
3. JUSTIFICATIVA.....	7
4. OBJETIVOS.....	8
4.1. Objetivos Geral: .....	9
4.2. Objetivos Específicos:.....	9
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	9
5.1. As feições de erosão e consequências para os sistemas fluvias .....	9
5.2. O processo geomorfológico de avulsão e suas implicações nos sistemas fluviais.....	13
5.3. Conectividade hidrossedimentológica.....	18
5.4. Caracterização Regional da área de estudos .....	22
6. METODOLOGIA .....	26
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	29
7.1 Erosões .....	29
7.2 Avulsões .....	32
7.3 A Conectividade entre Erosões e Avulsões.....	36
8. CONCLUSÃO .....	40
9. REFERÊNCIAS .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

As erosões nas vertentes, margens e no leito do canal principal e seus afluentes de uma bacia hidrográfica fornecem sedimentos para o canal fluvial (Santos; Morais, 2012). Erosão é o processo em que partículas de solo ou rocha se desprendem da superfície e são transportadas para locais diferentes de sua origem (Lepsch, 2010). A erosão é um processo natural de desagregação do solo, caracterizada pela remoção e transporte de rochas e sedimentos da superfície terrestre por meio da ação química e física (Stevaux; Latrubesse, 2017), as partículas removidas entram nos sistemas fluviais como carga sedimentar e carga dissolvida. Quando um rio recebe mais sedimentos do que é capaz de transportar, os sedimentos se acumulam no leito e nas margens. Quando uma grande carga de sedimentos se acumula no canal e provoca um bloqueio natural, o fluxo pode ser forte o suficiente para romper o dique e formar um novo canal (Jones; Harper, 1998).

A avulsão é um processo geomorfológico caracterizado pela divergência do fluxo, resultando em uma nova configuração em planta do canal. A avulsão é caracterizada pelo abandono de uma parte ou de toda faixa de canal, por um rio que muda sua posição, resultando em uma nova configuração na planície de inundação (Stevaux; Latrubesse, 2017). Muitas explicações para o início das avulsões são sugeridas, no entanto, os fatores mais relevantes são as taxas de agradação do canal, a redução da capacidade de transporte de água e sedimentos (Potucek; Evans, 2019). O acúmulo de sedimentos em canais fluviais é o principal fator que leva ao ponto crítico de avulsão, devido à diminuição da profundidade do leito. Mohrig *et al.*, (2000), apontam que a agradação dos rios eleva o leito do canal principal até que atinja a cota média ou superior à da planície adjacente, resultando em uma energia potencial suficiente para ocorrer a avulsão. Embora a agradação seja frequentemente mencionada como uma das principais causas de avulsões, ainda não se sabe como as erosões resultam em processos de avulsão, por meio do aumento da carga sedimentar.

A avulsão e a erosão são processos geomorfológicos que alteram a paisagem e a relação dos indivíduos com o solo e os cursos hídricos. A erosão resulta na perda de solo, sendo um dos principais fatores responsáveis por impactar as sociedades (Silva; Schulz; Camargo, 2004). Por sua vez, as avulsões afetam tantas áreas urbanas quanto agrícolas, representando riscos para infraestruturas e comunidades (Henson; Edmonds; Lazarus, 2024; Brooke *et al.*, 2022). Assim, esses processos não apenas alteram o ambiente físico, mas também têm implicações sociais e econômicas (Henson; Edmonds; Lazarus, 2024; Brooke *et al.*, 2022; Hernani *et al.*, 2002).

A bacia hidrográfica do rio Guiraí possui a maior quantidade de processo de avulsões, da bacia hidrográfica do alto rio Paraná (Taça; Morais, 2023). Os processos de avulsão se desenvolvem no canal principal, o rio Guiraí. Nas áreas de drenagem da bacia hidrográfica, diversas feições erosivas lineares são registradas, sendo, em alguns casos, noticiados no meio digital. Em um caso de erosão reportados pela mídia, um proprietário foi autuado pela Polícia Militar Ambiental por não recuperar uma erosão em áreas de nascentes do rio Guiraí e por lançar pneus velhos no local (Jornal da Nova, 2021).

Este estudo teve como objetivo geral investigar a relação entre os processos de avulsão e as áreas de drenagem com a ocorrência de erosão na bacia hidrográfica do rio Guiraí. A pesquisa busca compreender quantas feições erosivas contribuem para a carga sedimentar nos sistemas fluviais, por meio da conectividade lateral e longitudinal. O excesso de sedimentos no canal potencializa os processos de avulsão. A pesquisa sobre a relação das avulsões com as erosões em bacias hidrográficas como a do rio Guiraí, se diferencia ao investigar a erosão como o principal fator da aggradação no rio principal. O conhecimento sobre a relação dos processos é fundamental para melhorar a gestão e a preservação dos rios e ecossistemas. Para isso, inicialmente, foi realizado o mapeamento dos processos de avulsão e erosão linear no Google Earth Pro, abrangendo os anos de 2000 a 2024. Foi avaliada a área de drenagem a montante de cada avulsão, determinando a quantidade de feições erosivas que contribuíram para o assoreamento no rio Guiraí e, especificamente, para cada processo de avulsão. Além disso, foi realizada uma análise do perfil longitudinal do rio para identificar os trechos onde ocorreram avulsões, bem como o índice longitudinal dessas avulsões, observando sua posição ao longo do comprimento total do rio. Os resultados obtidos contribuirão para a compreensão do papel das erosões nas mudanças de canais na bacia hidrográfica.

## **2. PRESSUPOSTO**

A bacia hidrográfica do rio Guiraí é predominantemente ocupada pela agropecuária com diversas ocorrências de feições erosivas que podem resultar em uma significativa sedimentação nos rios. Assim as avulsões na bacia hidrográfica do rio Guiraí podem estar relacionados ao assoreamento proveniente das feições erosivas nas vertentes?

## **3. JUSTIFICATIVA**

A erosão resulta na perda de solo, o que acarreta sérios prejuízos econômicos e ambientais. Anualmente, milhões de toneladas de solo fértil são perdidas, reduzindo a

disponibilidade de nutrientes o que, por sua vez, eleva os custos de produção (Hernani et al., 2002). A perda de solo devido à erosão compromete a produção agrícola (Franceschet et al., 2011). Quando as partículas chegam aos sistemas fluviais, estas podem causar assoreamento nos rios, o que afeta atividades como a navegação e a geração de energia hidrelétrica (Franceschet et al., 2011).

O rio Guiraí possui a maior quantidade de avulsão na bacia hidrográfica do rio Paraná (Taça; Morais, 2023). A confluência do rio Guiraí com o rio Ivinhema situa-se em uma área de grande relevância ambiental, que abrange a Área de Proteção Ambiental das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná (Decreto s/nº de 30 de setembro de 1997). Além disso, na foz do rio Guiraí ocorre um trecho do rio Ivinhema que abrange o Parque Estadual do Ivinhema (Decreto nº9278 de 17 de Dezembro de 1998), uma unidade de conservação fundamental para a preservação da biodiversidade local. Os sedimentos resultantes das erosões nesse ponto podem comprometer a qualidade da água e degradar a vegetação e fauna do parque, colocando em risco a integridade desse ambiente protegido.

A avulsão é um processo geomorfológico que pode trazer benefícios, como a criação de novos habitats e o aumento da fertilidade com as inundações, mas também pode causar impactos negativos, como a destruição de infraestruturas e o deslocamento de comunidades. Esse processo desempenha um papel importante na formação de áreas úmidas e está ligado a reservatórios de água e hidrocarbonetos (Slingerland; Smith, 2004), além de favorecer a acumulação de nutrientes, o que impacta positivamente, a biodiversidade e a fertilidade do solo (Louzada et al., 2024). Contudo, em áreas urbanas, as avulsões podem resultar em desastres, aumentando os riscos de inundações (Henson; Edmonds; Lazarus, 2024; Brooke et al., 2022). Casos como os das avulsões dos rios Kosi e Taquari evidenciam os impactos socioeconômicos e ambientais desse processo (Chakraborty *et al.*, 2010; Mercante et al., 2007), enquanto no rio Niobrara, as avulsões levaram ao abandono de uma ponte ferroviária e à realocação de uma ponte rodoviária (Ethridge; Skelly; Bristow, 1999).

Compreender a inter-relação entre os processos de avulsão e erosão é essencial para o desenvolvimento de estratégias de gestão ambiental eficazes e sustentáveis. E que estejam alinhadas com o objetivo 11.5 da Agenda 2030 da ONU, que visa reduzir as perdas econômicas e os danos causados por mudanças nos recursos hídricos (Objetivos de desenvolvimento sustentável, 2024).

#### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1. Objetivos Geral:**

Avaliar a relação entre áreas de drenagem da bacia hidrográfica associadas à ocorrência de erosões e os processos de avulsão no canal fluvial.

#### **4.2. Objetivos Específicos:**

1. Identificar as feições erosivas lineares na bacia hidrográfica do rio Guiraí.
2. Identificar os processos de avulsão na bacia hidrográfica do rio Guiraí, analisando suas características.
3. Avaliar a área de drenagem a montante de cada avulsão e identificar as feições erosivas que ocorrem em cada uma dessas áreas
4. Analisar o perfil longitudinal do rio Guiraí para identificar os trechos onde ocorrem as avulsões
5. Analisar o índice longitudinal da avulsão, em que comprimento as avulsões de desenvolve.
6. Estabelecer uma possível associação entre os agrupamentos de avulsões e as áreas com maior ocorrência de erosão

### **5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **5.1. As feições de erosão e consequências para os sistemas fluvias**

Este texto aborda o processo de erosão, explicando como ele desgasta as superfícies terrestres e remodela a paisagem, sendo influenciado tanto pela ação de processos naturais quanto por atividades humanas. A erosão pode ser acelerada por práticas como desmatamento, revolvimento da terra e manejo inadequado dos solos, especialmente no Brasil, onde a expansão agrícola e pecuária intensificam esses problemas. Fatores como tipo de solo, declividade e clima também desempenham um papel crucial nas feições erosivas. O texto aborda a erosão hídrica, e brevemente fala dos tipos como sulcos, ravinas e voçorocas. Além disso como o transporte e acúmulo de sedimentos provenientes das vertentes resultam em fenômenos como o assoreamento, afetando negativamente os canais fluviais e as atividades econômicas, como a navegação e a geração de energia hidrelétrica.

A erosão é um processo físico natural de desagregação das partículas das superfícies da terra, provocado por forças exógenas que atuam remodelando a paisagem. A erosão pode ser interpretada como um desgaste da camada mais superficial do solo ou da rocha, ou mesmo em profundidade, quando as partículas (grãos) são removidas e adentram no ciclo

sedimentológico. A erosão é um processo que envolve o desgaste gradual de solos e rochas, resultando na remoção e no transporte de sedimentos, impulsionados por ações químicas e físicas do ambiente (Stevaux; Latrubesse, 2017). Thomaz (2019), acrescenta que a erosão é um processo iniciado pelo desprendimento das partículas do solo, seu transporte e posteriormente a deposição em algum lugar. O termo erosão se refere ao desprendimento das partículas de solo ou rocha e o transporte para outros locais distintos de sua origem (Lepsch, 2010). Silva, Schulz e Camargo (2004) definem a erosão geológica/natural como desgaste da cobertura superficial da Terra por agentes naturais (água, gelo e vento), ocorrendo sem a influência de atividades humanas em condições de equilíbrio da paisagem.

Embora seja um processo natural que se desenvolve ao longo do tempo geológico, a erosão pode ser acelerada por atividades humanas que alteram o equilíbrio ambiental (Hernani *et al.*, 2002). As mudanças induzidas pelo homem potencializam e aceleram a degradação dos ambientes, normalmente resultado de uso e manejo inadequado que comprometem a conservação do solo seu uso futuro (Santoro, 2009). A erosão acelerada resulta na retirada da camada fértil do solo em velocidades superiores à erosão natural/geológica (Guerra *et al.*, 2020). A intervenção humana para atender a interesses específicos pode acelerá-la, resultando em danos à agricultura, economia e meio ambiente. (Hernani *et al.*, 2002). Silva, Schulz e Camargo (2004), complementam que o aumento gradativo das erosões que ocorrem em terras agrícolas é atrelado à perda de fertilidade do solo e à degradação do ambiente anteriormente fértil.

As ações humanas que favorecem a erosão acelerada são denominadas condicionantes antrópicos, e incluem o desmatamento, o revolvimento da terra, a concentração do escoamento e o uso irregular dos solos agrícolas e urbanos (Santoro, 2009). Lepsch (2010), acrescenta que as atividades que aceleram a degradação dos solos brasileiros incluem a aração, as queimadas, o cultivo em terrenos inclinados, o pisoteio intenso de animais e a retirada da vegetação. O Brasil é um país predominantemente agrícola e sua economia está ancorada na produção e exportação de commodities. Em julho de 2024, soja, milho, trigo e fertilizantes responderam por 20% das 119 milhões de toneladas movimentadas pelos portos brasileiros (Ministério de Portos e Aeroportos, 2024).

A produção de alimentos em si não é um problema, mas sim as práticas de manejo inadequadas que podem levar à degradação do solo, como, por exemplo a erosão. O modelo agrícola que se concentra na produtividade econômica, depende normalmente de agroquímicos e mecanização intensa, o que pode levar a práticas irregulares de manejo do solo (Hernani *et al.*, 2002). A pecuária e a agricultura no Brasil se expandem de maneira

indiscriminada, explorando constantemente novas áreas sem um esforço adequado para recuperar as regiões já degradadas (Lepsch, 2010). Um exemplo disso são as terras abandonadas e degradadas após o declínio da economia cafeeira no Vale do Paraíba (Lepsch, 2010).

O desenvolvimento de erosões nas vertentes depende da interação de várias características, incluindo os elementos físicos, climáticos e antrópicos/culturais únicos de cada lugar (Silva; Schulz; Camargo, 2004). De acordo com Lepsch (2010), os principais elementos são relacionados ao tipo de solo, a declividade, as práticas de manejo agrícola e o clima. Crepani *et al.* (2001) acrescenta que a erosão é determinada por diversas características naturais do local, como o clima e a quantidade de precipitação, o tipo de solo, as formas do relevo, o tipo de rochas e a cobertura do solo. As condições de gênese do solo, incluindo textura, porosidade, permeabilidade e a disponibilidade de matéria orgânica, são determinantes para o modo como o solo recebe, escoar e absorve a água, impactando sua capacidade de infiltração, retenção e resistência à erosão (Lepsch, 2010). A topografia e a inclinação do terreno direcionam o fluxo da água e sua concentração, influenciando tanto a velocidade quanto a capacidade de transporte das partículas. Em terrenos mais planos a água escoar de forma mais lenta, facilitando sua infiltração no solo (Lepsch, 2010). Já em áreas com declives acentuados, o fluxo é rápido e não dá tempo de o solo absorver, o que torna as montanhas mais suscetíveis à erosão hídrica (Lepsch, 2010).

O tipo de uso e ocupação do solo, o manejo e as características físico químicas influenciam no grau de resistência a erosão (Thomaz, 2019). A retirada da vegetação para implementação da agricultura pode deixar o solo momentaneamente descoberto, principalmente em períodos entre safras de culturas temporárias, tornando-o vulnerável ao impacto direto da chuva. O manejo dos solos, quando destinado ao cultivo de alimentos, influencia o grau da erosividade e a capacidade de desprendimento das partículas (Lepsch, 2010). O tipo de cobertura reflete no grau de proteção do solo à erosão, em alguns casos facilitando a infiltração e em outros impermeabilizando totalmente, como em áreas urbanizadas (Silva; Schulz; Camargo, 2004). Em relação ao clima, o elemento mais importante é a quantidade, intensidade e distribuição da precipitação, visto que chuvas intensas e concentradas resultam em enxurradas em pouco tempo, intensificando a erosão, enquanto chuvas mais lentas e bem distribuídas permitem que o solo absorva a água, evitando o escoamento concentrado (Lepsch, 2010). As gotas de água causam impacto direto ao cair sobre um solo desprotegido, desagrega os torrões e aumenta a quantidade de partículas finas

(Silva; Schulz; Camargo 2004). Quando a água se acumula, o transporte dessas partículas finas para as áreas mais baixas do terreno é facilitado.

A degradação das terras no Brasil se manifesta principalmente pela perda da camada superficial do solo e a erosão hídrica é o principal processo responsável por isso (Hernani *et al.*, 2002). A erosão hídrica ocorre em duas fases: a primeira se relaciona a desagregação das partículas de solo pela precipitação e a segunda pelo transporte dessas partículas e pelo escoamento, impulsionado pela energia cinética (Lepsch 2010). Thomaz (2019), destaca que a precipitação é o agente inicial da erosão, quando as gotas entram em contato com o solo, posteriormente a água se acumula e resulta em fluxos concentrados ou difusos.

Existem diversas formas de classificar a erosão, considerando as concepções de diferentes estudiosos e características como a profundidade e o local de ocorrência, que pode ser nas vertentes (como sulcos, ravinas e voçorocas) ou ao longo dos canais fluviais. Segundo a concepção de Silva, Schulz e Camargo (2004) a erosão hídrica pode ocorrer de forma linear, laminar e em canais, descritas abaixo na concepção destes autores. A erosão laminar é caracterizada pela remoção de uma fina e relativamente homogênea camada do solo pela precipitação e escoamento. A erosão linear é caracterizada pela formação de canais com tamanhos variados que, em curtos períodos, acumulam água e removem partículas, dependendo da intensidade da precipitação, das propriedades do solo e relevo.

Thomaz (2019) classifica as erosões em superficiais, e em formas mais intensas, como túneis e voçorocas. Nas erosões entre ravinas, o impacto das gotas de chuva é o principal agente erosivo, enquanto nas ravinas, o fluxo concentrado desempenha um papel central na modelagem do terreno. Já as erosões em túnel e voçoroca envolvem a formação de canais paralelos, que afetam a drenagem subterrânea da vertente, sendo responsáveis pela produção e transferência de água e sedimentos. Também pode ocorrer erosões regressivas e de cabeceiras (*headcuts*), caracterizada por possuir uma potência de destacamentos superior ao de transporte do fluxo, ocorrendo deposição no final dos microcanais (Thomaz, 2019).

O material erodido é transportado para locais diferentes de sua origem, onde pode se acumular em leitos de rios, planícies aluviais, lagos e oceano. O transporte dos materiais desprendidos pela erosão, ocorre devido a precipitação (impacto das gotas) e do fluxo sob superfície, e da interação desses elementos (Thomaz, 2019). Esse processo de erosão, que envolve a remoção de partículas do solo, é um componente fundamental do ciclo sedimentológico, culminando na deposição de sedimentos (Silva; Schulz; Camargo, 2004). O acúmulo de sedimentos em rios e reservatórios é conhecido como assoreamento (Cabral, 2005; Vieira et al., 2020, Peixoto 2016). Quando os sedimentos chegam aos reservatórios e a

velocidade da água diminui, eles se depositam no fundo, fenômeno conhecido como assoreamento (Cabral, 2005). O assoreamento ocorre quando há um desequilíbrio entre a quantidade de sedimentos que chegam aos corpos d'água e a capacidade desses corpos de removê-los por ação dos agentes naturais (Vieira *et al.*, 2020). Segundo Peixoto (2016), o assoreamento dos córregos Ponta Porã e Azul (Município de Ivinhema) mostra o impacto das voçorocas na hidrografia local, com o material erodido comprometendo a capacidade de drenagem dos cursos d'água.

A ação da erosão molda tanto o relevo urbano quanto o rural, influenciando os processos de desprendimento, transporte e deposição (Giannini; Melo, 2010). A deposição de sedimentos, embora benéfica em alguns contextos, como o aumento da fertilidade nas planícies de inundação, também acarreta sérios problemas, como o assoreamento de rios e o agravamento das inundações (Silva; Schulz; Camargo, 2004). Além disso, essa sedimentação nos canais fluviais pode impactar significativamente as atividades econômicas que dependem dos recursos hídricos, incluindo a navegação e a geração de energia hidrelétrica (Franceschet *et al.*, 2011).

## **5.2. O processo geomorfológico de avulsão e suas implicações nos sistemas fluviais**

O texto a seguir irá explorar o processo de avulsão fluvial, descrevendo como o processo altera o curso dos rios e as planícies aluviais, criando novos canais e transformando a paisagem fluvial. Serão abordadas as diferentes fases e estágios desse processo, desde a ruptura dos diques até a estabilização do canal com o novo regime de fluxo. Também serão apresentados os tipos de avulsão e suas causas, tanto naturais quanto provocadas pelas atividades humanas. Além disso, o texto apresentará exemplos de avulsões em rios ao redor do mundo, destacando os fatores que influenciam essas mudanças e seus impactos na paisagem fluvial.

As mudanças episódicas que modificam o trajeto dos rios e das planícies aluviais são denominadas avulsões (Brooke *et al.*, 2022). A avulsão é o abandono de uma parte ou de toda a faixa de canal por um rio que muda sua posição, resultando em uma nova configuração na planície de inundação (Stevaux, Latrubesse; 2017). A avulsão é um processo que altera a morfologia dos rios, caracterizado pela transferência do fluxo e dos sedimentos do canal principal para uma nova localização, formando o canal de avulsão (Figura 1). O canal principal, como o nome mesmo sugere, é o percurso natural anterior à mudança. Já o canal de avulsão é o canal formado com o processo de avulsão. As avulsões podem ser completas,

quando há o abandono do canal principal, em detrimento do canal de avulsão, que passa a captar todo o fluxo.



**Figura 1.** Avulsão completa caracterizada pela abertura de um canal único com o rompimento de um dique marginal. A) Canal principal. B) Canal de avulsão, desenvolvido em uma nova área na planície de inundação, que gradualmente, desvia todo o fluxo do canal principal, resultando em um paleocanal. Fonte: Google Earth Pro, 2024.

O processo geomorfológico de avulsão pode acontecer em diferentes padrões de canais, como sistemas aluviais sinuosos, entrelaçados ou multicanaís (Stevaux; Latrubesse, 2017). Nos últimos trinta anos, o registro de avulsões tem sido comum em deltas e encostas montanhosas de rios, os trechos sinuosos e de transição são os mais afetados (Sah; Kumar; Das, 2022). Jones; Schumm, (1999), complementam que o processo de avulsão, raramente ocorre em vales estreitos ou cânions, sendo mais comuns em vales amplos, planícies aluviais, deltas e leques. Para que uma avulsão se inicie e continue a progredir, é necessário que existam condições favoráveis de relevo e litologia, de modo que a água transferida do canal principal se canalize e flua com mais eficiência no canal de avulsão.

O processo de avulsão ocorre em fases de evolução, sendo que a primeira fase é a ruptura do dique do canal principal com a abertura de uma bifurcação, a seleção do trajeto do canal de avulsão e o estabelecimento do novo canal (Henson; Edmonds; Lazarus, 2024; Edmonds *et al.*, 2016). As avulsões são iniciadas com o rompimento de um dique marginal, se desenvolvendo gradativamente em canais de distribuição, até que o fluxo desviado se acomode em um novo trajeto (Valenza *et al.*, 2020). Sendo assim, toda avulsão tem como origem uma bifurcação, na qual parte do fluxo hídrico é desviada para o canal de avulsão enquanto a outra parte permanece no canal principal (Kleinhans *et al.*, 2008).

Logo depois que ocorre a bifurcação, o canal principal e o de avulsão se ajustam aos novos regimes de fluxo (Sorrells; Royall, 2014). O ajuste dos canais somente será consistente se os sedimentos forem distribuídos conforme suas capacidades de transporte, do contrário,

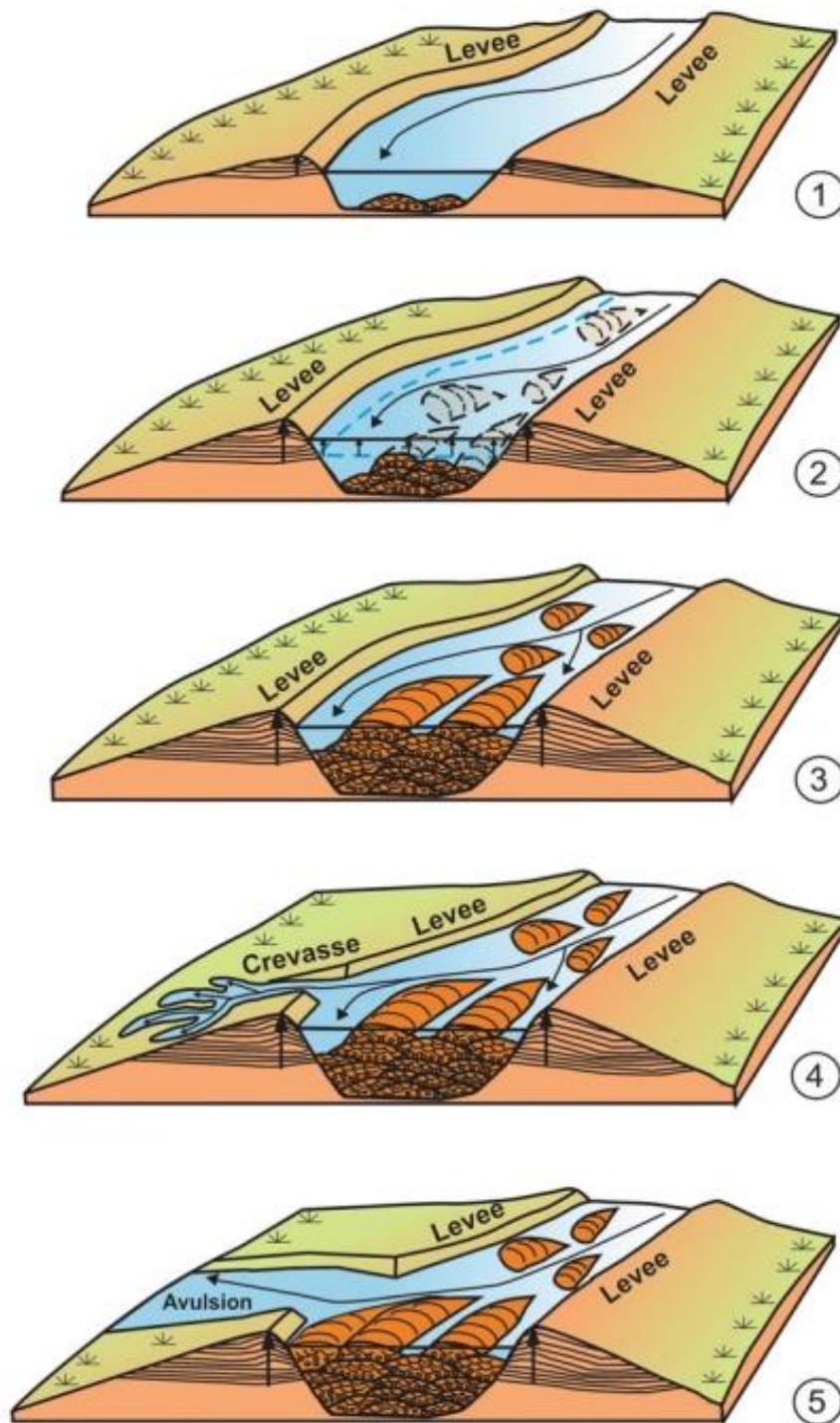
um canal se sobressairá em relação ao outro, causando a deposição ou erosão em um, ou ambos os canais (Slingerland; Smith, 2004). A divisão do fluxo e dos sedimentos controla o equilíbrio da bifurcação, pois se um canal receber uma quantidade inferior à sua capacidade de transporte, ele pode sofrer erosão, mas, se a quantidade de sedimento exceder a capacidade de transporte, o canal pode sofrer aggradação, fato que determina a permanência da avulsão (Kleinhans *et al.*, 2008).

As avulsões podem ser classificadas conforme seu estágio de desenvolvimento. As avulsões podem ser completas, quando há o abandono do canal principal e o canal de avulsão passa a captar todo o fluxo da água. Tanto Slingerland e Smith (2004), como Stouthamer (2014), apontam que avulsões completas resultam no abandono do canal principal, o rio abandonado pode formar um lago, ser preenchido por sedimentos, ser periodicamente inundada em épocas de chuva ou ser ocupado por um tributário. Já as avulsões parciais, fazem com que o novo canal coexista com o canal principal, na ocasião em que os dois canais ficam ativos e são reintegrados, dá-se origem a uma rede de multicanais (Slingerland; Smith, 2004).

Quando o fluxo desvia do canal principal, ele busca trajetórias que funcionem com maior vantagem para escoar o fluxo de água e o transporte de sedimentos. Isso pode acontecer de forma imediata ou gradual. A avulsão pode demorar um longo período (até milhares de anos) para finalizar seu processo, mas também pode acontecer em um pequeno intervalo de tempo (Slingerland; Smith, 2004). A avulsão repentina resulta de um evento específico, enquanto a avulsão gradual surge da interação contínua de diversos fatores ao longo do tempo, levando o rio ao seu ponto crítico. Uma obstrução repentina, como enroscamentos de troncos (*Log Jams*), pode forçar o rio a avulsão rapidamente, enquanto uma obstrução gradual, como a aggradação do leito, pode levar o canal ao limiar crítico (Jones; Schumm, 1999).

Com o progresso da avulsão, é possível classificar conforme como o novo canal se originou, normalmente três estilos são descritos: incisão anexação ou progradação (Slingerland; Smith, 2004). A avulsão por incisão é quando um novo canal é criado, o rio rompe o dique marginal e escava um novo caminho, a avulsão por anexação acontece com a ocupação de paleocanais na planície de inundação (Slingerland; Smith, 2004) e a avulsão por progradação decorre com a formação de leque de espraiamento (Jones; Harper, 1998). Edmonds *et al.* (2016) propõem uma forma de classificação semelhante, o fluxo da avulsão pode ser autoformado (*self-formed*) ou anexacional (*annexational*). As avulsões autoformadas estabelecem um novo percurso do fluxo na planície de inundação por processos de progradação ou incisão. Já as avulsões anexacional ocupam um canal pré-existente, que pode ser um tributário ou um paleocanal.

O acúmulo de sedimentos destaca-se como um fator crucial para o ponto crítico da avulsão (Mohrig *et al.*, 2000, Slingerland; Smith, 2004, Paranhos Filho *et al.*, 2019). Quando o canal fica assoreado, o rio perde sua capacidade de transporte e inicia a busca por um novo trajeto, que pode ser uma área mais baixa do dique marginal ou uma região mais suscetível à erosão (Figura 2). O acúmulo contínuo de sedimentos resulta na agradação do leito, o que induz o curso do rio a buscar alternativas de percurso, paralelamente, durante o seu desenvolvimento, observa-se a dispersão dos sedimentos (*crevasse-splay*) sobre a planície de inundação (Mohrig *et al.*, (2000). O processo de avulsão ocorre principalmente em rios com regimes de sedimentação dinâmicos, onde a deposição e remoção de sedimentos variam constantemente em resposta a mudanças no fluxo de água, na energia do sistema e em outros fatores ambientais (Paranhos Filho *et al.*, 2019). Essas mudanças são frequentemente impulsionadas por eventos autocíclicos, sendo respostas naturais dos sistemas deposicionais, e são reconhecidas como uma das principais causas das alterações na paisagem (Paranhos Filho *et al.*, 2019).



**Figura 2.** Esquema da evolução de um processo de avulsão motivado pelo assoreamento do leito. Os sedimentos se acumulam no canal principal e o leito fica superelevado em relação a planície de inundação. Quando o rio arromba o dique a água flui com energia da parte mais alta do dique (crista) para a planície. Fonte: Assine, M. et al., 2015.

Quando o acumulo de sedimentos bloqueia o canal, o fluxo pode romper o dique e forçar a formação de um novo canal (Jones; Harper, 1998). Mohrig *et al.*, (2000), apontaram que a agradação dos rios eleva o leito do canal principal até que atinja a cota média ou maior que a da planície adjacente, resultando em uma energia potencial suficiente para ocorrer uma

avulsão gradual ou motivada por um gatilho (*setup*). O acúmulo de sedimentos é uma das possíveis causas da avulsão do rio Amarelo, localizado no nordeste da China, a cada ano há a elevação de 10 cm do leito e a taxa média de sedimentos é de 30 kg/m<sup>3</sup>, uma das mais elevadas entre os grandes rios (Slingerland; Smith, 2004).

Outros estudos indicam que movimentos tectônicos, variações climáticas, mudanças ambientais e interferências antrópicas também desempenham um papel significativo no desenvolvimento das avulsões. Na região do Himalaia, no cinturão oriental da planície de Brahmaputra, ocorreram avulsões que foram atribuídas ao terremoto de Assam (1950) e à retirada da vegetação nos últimos anos (Sah; Kumar; Das, 2022). No rio Paraná em seu trecho entre a represa Porto Primavera e a foz do Paranapanema, é provável que processos de avulsões tenham sido causados por mudanças climáticas durante o Holoceno, provocando alterações na hidrologia do rio (Stevaux; Souza, 2004). Estudos realizados no rio Magdalena, na Colômbia, revelaram que a avulsão está relacionada a uma combinação de fatores tectônicos e climáticos, com uma intensificação no processo durante as fases de La Niña, em função da magnitude do fluxo e das inundações. (Morón *et al.*, 2017). A análise do rio Niobrara em Nebraska- EUA, mostrou que a construção da barragem de Gavins Point causou agradação a montante, levando o rio a um ponto crítico de avulsão. Com o leito elevado, o congestionamento de gelo atuou como gatilho e forçou a água contra uma área baixa do dique (Ethrdge; Skelly; Bristow, 1999). A mudança na inclinação, que marca a transição das terras altas do Planalto de Loess para a Planície do Norte da China, provoca uma diminuição significativa na capacidade de transporte de sedimentos, impulsionando as avulsões em Huayankou (Ganti *et al.*, 2014).

### **5.3. Conectividade hidrossedimentológica**

Este texto aborda o conceito de conectividade na geomorfologia e no contexto hidrossedimentológico, focando na movimentação de água e sedimentos em uma bacia hidrográfica. Inicialmente, define-se a conectividade troca entre diferentes partes da paisagem. A seguir, são detalhados os três tipos de conectividade: lateral (entre vertente, canal e planície), longitudinal (fluxo de sedimentos no rio) e vertical (trocas entre superfície e subsolo). A desconectividade, quando os sedimentos não se movem, e a influência das ações humanas também são discutidas. O texto finaliza analisando o impacto do gradiente dos rios na conectividade dos sedimentos ao longo do canal'.

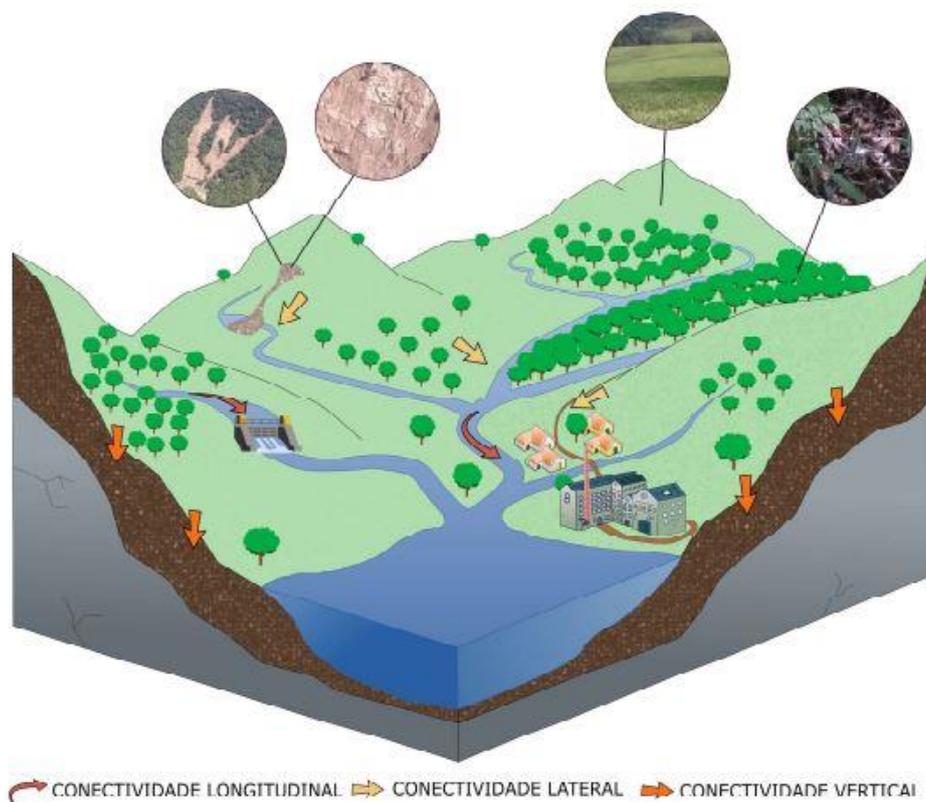
De forma ampla a conectividade diz respeito à capacidade de estabelecer uma conexão entre dois ou mais elementos. Na geomorfologia, refere-se à fluidez com que diferentes partes de uma paisagem se conectam, como nos canais fluviais e encostas, ou trechos hídricos com variações longitudinais e geométricas (Wohl *et al.*, 2016). No contexto hidrossedimentológico, a conectividade é definida como a capacidade de uma unidade da paisagem transferir para outra unidade água, sedimentos, nutrientes e poluentes no tempo e no espaço. A conectividade hidrossedimentológica é o movimento contínuo e integrado de água e sedimentos dentro de uma bacia hidrográfica (Zanandrea; Kobiyama; Michel, 2017). Franco e Souza (2019) acrescentam que a conectividade de sedimentos é a ligação física entre o sedimento e um sistema hídrico, resultando na transferência do sedimento de uma área para outra, sem desconsiderar as características da partícula e seu potencial de deslocamento. A conexão entre uma fonte de sedimento e um ponto de deposição é chamada de conectividade sedimentar, como apontam Bracken *et al.* (2015).

A conectividade dos sedimentos em uma bacia hidrográfica pode ser entendida como o trajeto percorrido pelos sedimentos dentro da bacia, considerando seu fluxo e movimentação no sistema, para onde são direcionados ou se a tendência é que fiquem estocados. Esse processo é influenciado pelas características dos diferentes trechos e compartimentos da paisagem. A desconectividade ocorre quando os sedimentos não se movimentam, devido aos componentes da paisagem que dificultam a conexão ou o deslocamento das partículas dentro de uma bacia hidrográfica. A conectividade e a (des)conectividade são influenciadas por compartimentos geomorfológicos, como encostas, entre encostas, canais e dentro dos canais (Bracken *et al.*, 2015).

De acordo com Zanandrea (2020), em uma bacia hidrográfica, a água e sedimentos se conectam de três maneiras: conectividade lateral, longitudinal e vertical (Figura 3). (Brierley; Fryirs; Jain, 2006), acrescentam que a conectividade longitudinal se refere ao fluxo do rio no sentido montante-jusante (nascente/foz) e envolve a capacidade de transporte de sedimentos ao longo do perfil longitudinal. Esse tipo de conectividade é importante para o transporte de sedimentos do alto curso para o baixo curso de um canal fluvial. Já a conectividade lateral é a transferência das relações entre a vertente, o canal e a planície de inundação. Esse tipo de conectividade é responsável por conectar os sedimentos gerados pelos processos erosivos nas vertentes e pelas inundações das planícies, os quais podem ser transportados em direção ao rio. A conectividade lateral conecta o canal às planícies de inundação durante os períodos de cheias e vazantes, sendo esse um aspecto muito importante para manutenção da

biodiversidade (Rocha, 2011). Em canais encaixados predomina a conectividade longitudinal, em canais entrelaçados e meandrantos predomina a conectividade lateral (Rocha, 2011).

Por último a conectividade vertical envolve as trocas de sedimentos, nutrientes e água entre a superfície e subsuperfície, estando relacionada com a litologia. No contexto fluvial, a conectividade vertical é influenciada pela textura do leito, que varia entre sedimentos finos, como argilas, e materiais mais grosseiros, como cascalhos, além do fluxo da água, que regula o transporte e a deposição de sedimentos, afetando a infiltração e a redistribuição de materiais entre a superfície e o subsolo (Fryirs, 2013). A conectividade vertical está relacionada à infiltração, processo em que a água que circula na superfície penetra no solo e nas camadas subterrâneas.



**Figura 03.** Tipos de conectividade em uma bacia hidrográfica. Fonte: Zanandrea, 2020.

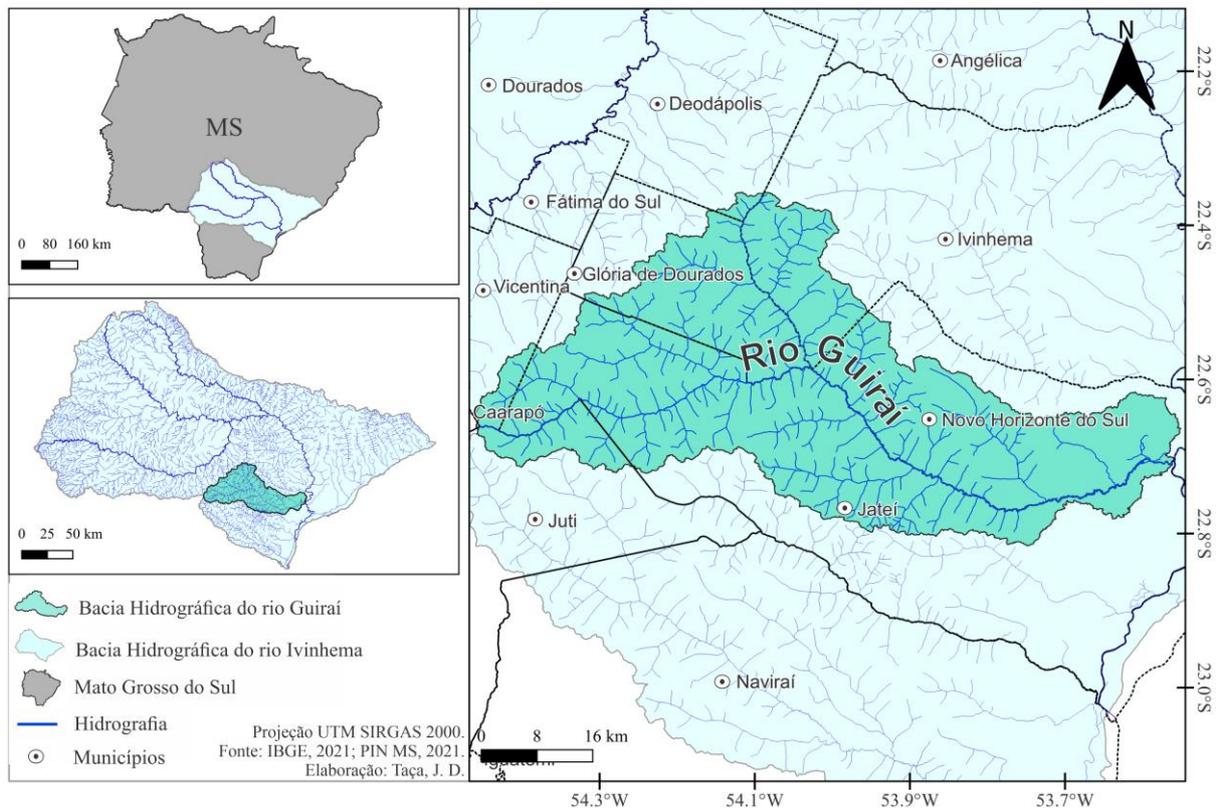
Os sedimentos gerados pelos processos erosivos se conectam em um sistema hidrossedimentológico dentro de uma bacia hidrográfica. O estudo integrado das paisagens, que considera tanto as características naturais quanto as influências humanas, é crucial para compreender a conectividade dos sedimentos e as dinâmicas do meio natural. Esses fatores podem facilitar ou restringir o fluxo de sedimentos, gerando, assim, conectividade ou (des)conectividade. Para entender o comportamento do fluxo de sedimentos, é necessário analisar onde esses sedimentos estão armazenados, qual o tempo de permanência, se há algum

bloqueio natural, sua capacidade de transporte e se o local de deposição permanece disponível ou já está esgotado. A análise desses fatores oferece uma compreensão mais profunda sobre a conectividade dos sedimentos (Fryirs, 2013).

A conectividade dos sedimentos depende de como a paisagem é organizada e, atualmente, é fortemente influenciada pelas ações humanas. Nesse contexto, a localização e o gradiente dos rios e vertentes desempenham um papel crucial para entender aspectos como a eficiência do fluxo, as características do vale aluvial e o transporte de sedimentos, além de sua relação indireta com a avulsão. Trechos com gradientes mais elevados tendem a apresentar maior conectividade longitudinal, enquanto áreas com gradientes mais suaves apresentam menor conectividade, o que resulta em um tempo maior de permanência da água e maior armazenamento de sedimentos e matéria orgânica (Wohl *et al.*, 2016). Ainda segundo Wohl *et al.* (2016), rios com gradiente elevado geralmente formam vales confinados, com planícies de inundação limitadas ou ausentes, enquanto rios de gradiente menor tendem a ter amplas planícies de inundação, canais sinuosos e maior capacidade de armazenar matéria orgânica e sedimentos devido à menor velocidade do fluxo e maior área disponível.

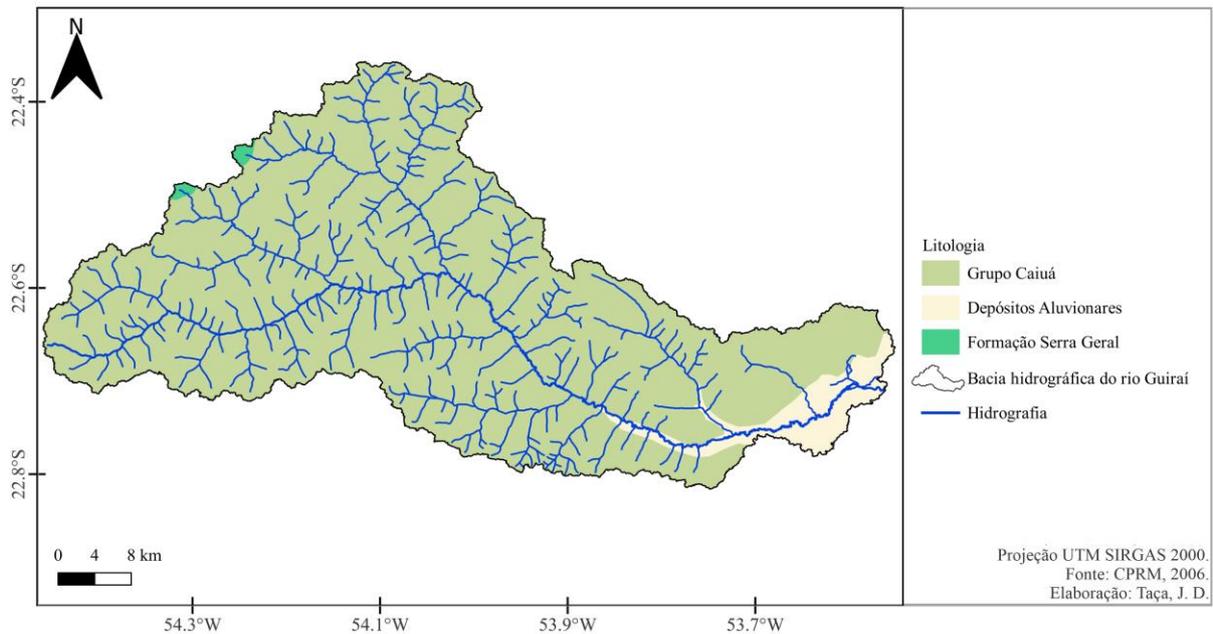
#### 5.4. Caracterização Regional da área de estudos

A bacia hidrográfica do rio Guirai está situada no estado de Mato Grosso do Sul, na região Centro-Oeste do Brasil. Tem uma área total de 2.224,3 km<sup>2</sup> e abrange os municípios de Jateí, Novo Horizonte do Sul, Juti, Caarapó, Vicentina, Glória de Dourados, Ivinhema e Deodápolis. O rio principal, Guirai, que dá nome à bacia, é um afluente do rio Ivinhema, e este, por sua vez, é um afluente do rio Paraná. A Figura 4 mostra a bacia hidrográfica do rio Guirai com seus cursos hídricos e sua localização no estado de Mato Grosso do Sul e na bacia hidrográfica do rio Ivinhema.



**Figura 4.** Bacia hidrográfica do Rio Guirai.

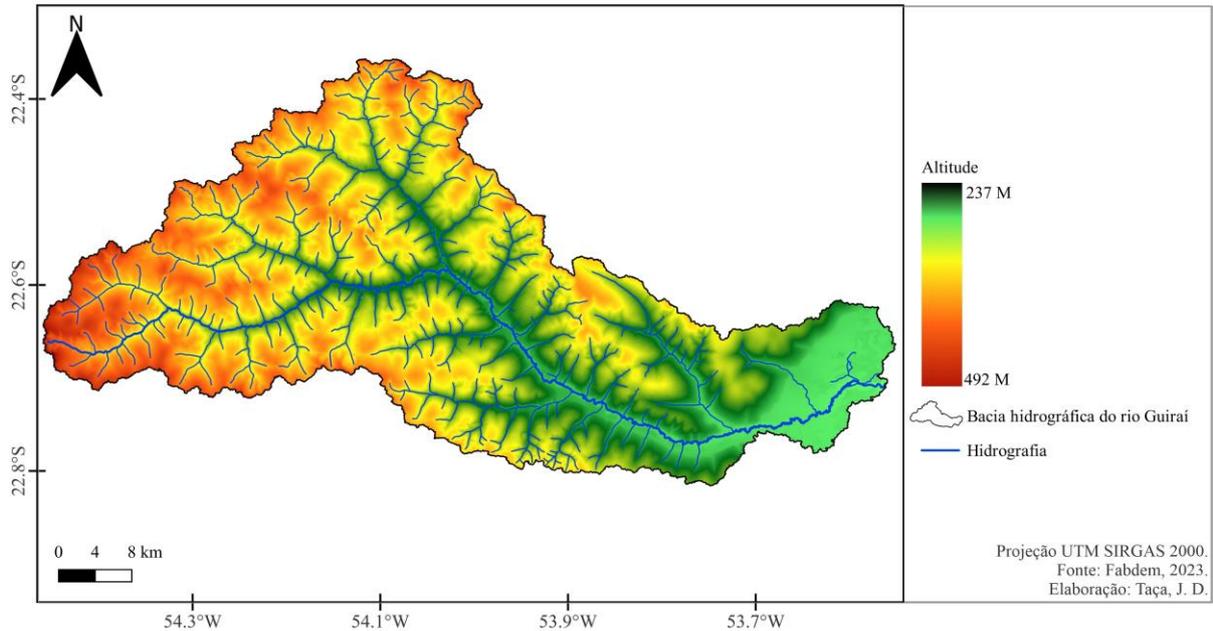
A litologia da bacia hidrográfica do rio Guirai é composta por três unidades (Figura 5), descritas com base nas informações contidas no *shapefile* da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) de 2006. O Grupo Caiuá, formado em um ambiente desértico continental com dunas de areia, é composto por arenitos de quartzo e subarcoseanos, com grãos angulosos a levemente arredondados na parte fina e arredondados na parte grossa. A Formação Serra Geral é composta por basaltos afaníticos de grãos finos, com coloração variando de preto a cinza escuro, apresentando uma estrutura maciça e poucas amígdalas. Os depósitos aluvionares são compostos por sedimentos fluviais inconsolidados, como areia, areia quartzosa, cascalho, silte, argila e, localmente, turfa.



**Figura 5:** Litologias da bacia hidrográfica do rio Guiraí.

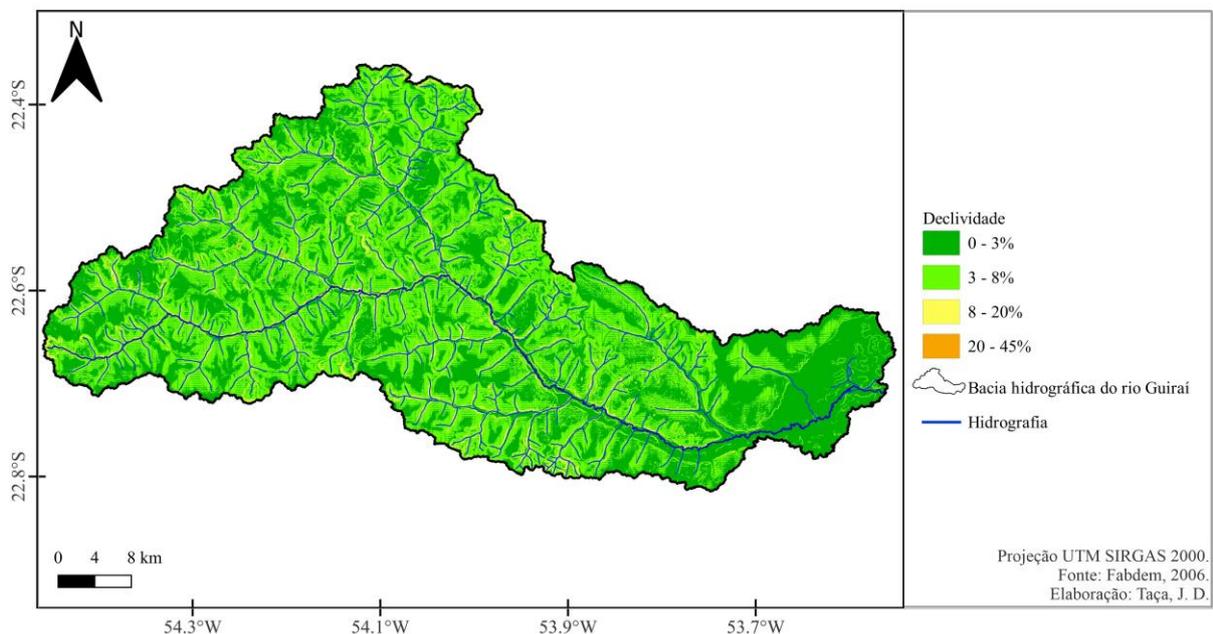
De acordo com o plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Ivinhema, a bacia hidrográfica do rio Guiraí apresenta o clima Cfa (mesotérmico úmido), ou temperado úmido. Caracteriza-se por verões quentes, onde as temperaturas médias frequentemente ultrapassam 23 °C (Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Ivinhema, 2014). Os invernos são amenos, com temperaturas médias raramente menores que 0 °C, o que contribui para um ambiente mais estável ao longo do ano. A precipitação é bem distribuída, com chuvas significativas durante todos os meses (Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Ivinhema, 2014).

Os níveis altimétricos variam de 492 m no alto curso da bacia hidrográfica do rio Guiraí a 237 m na confluência com o rio Ivinhema (Figura 6). A altitude é mais elevada nas regiões do alto curso, onde o relevo é dissecado, e vai diminuindo gradualmente até atingir a ampla planície de inundação no baixo curso, que se destaca claramente na paisagem. O alto curso da bacia hidrográfica do rio Guiraí se estende até 330 metros de altitude. Essa área é caracterizada por colinas baixas com topos arredondados e vertentes convexas, apresentando uma rede de drenagem bem desenvolvida, com vales extensos e largos (Fortes, 2003). Entre 330 e 250 metros de altitude a bacia hidrográfica possui colinas baixas de topos planos (Fortes, 2003).



**Figura 6.** Altitude da bacia hidrográfica do rio Guirai

A declividade (Figura 7) nas áreas localizadas nos topos das vertentes e nas planícies de inundação é geralmente suave, variando entre 0% e 3%. Nas vertentes médias, próximas aos rios, a inclinação se acentua, podendo atingir até 20%.

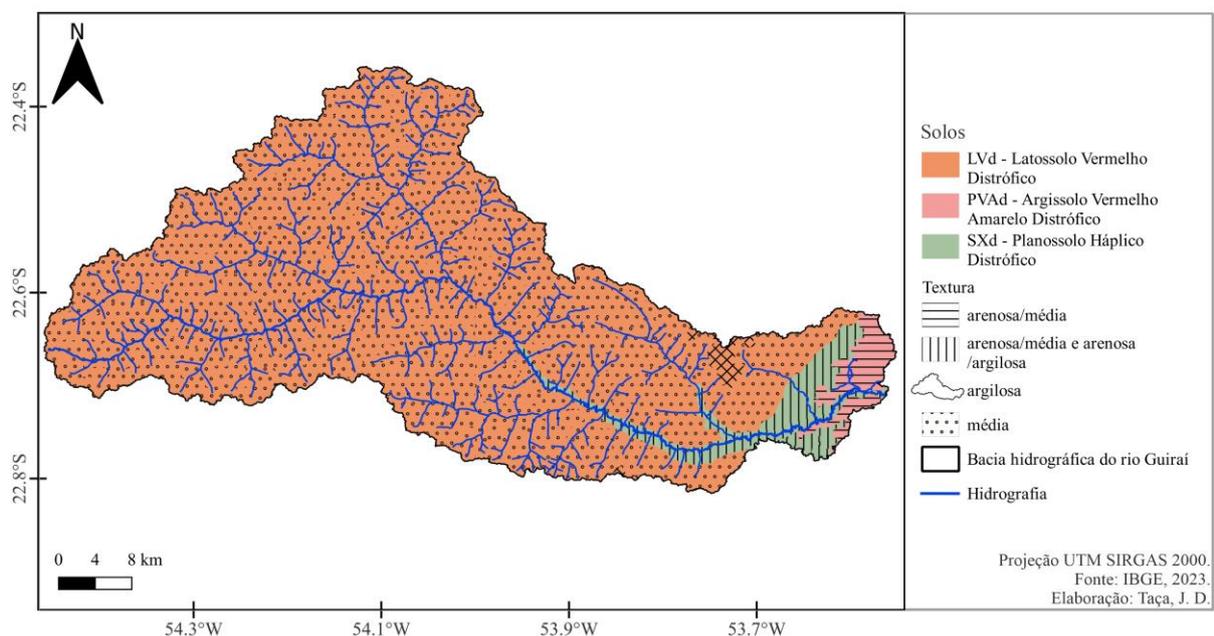


**Figura 7.** Declividade da bacia hidrográfica do rio Guirai

Na bacia hidrográfica do rio Guirai, são encontrados três tipos de solo com diferentes texturas (Figura 8). Os Latossolos Vermelhos Distróficos de textura média se desenvolvem no alto e médio curso. Os Planossolos Háptico Distróficos de textura média e arenosa/argilosa se desenvolvem no médio e baixo curso, próximos às margens do rio principal. Os Argissolos

Vermelhos Amarelos Distróficos de textura arenosa/média se desenvolvem no baixo curso. Os Latossolos são solos minerais, não-hidromórficos, profundos (normalmente superiores a 2 m), com horizontes B muito espessos, com sequência de horizontes A, B e C pouco diferenciados; as cores variam de vermelhas muito escuras a amareladas, geralmente escuras no A, vivas no B e mais claras no C. Os Latossolos de textura média, com teores elevados de areia, assemelham-se aos areais quartzosos, sendo suscetíveis à erosão, e requerem práticas conservacionistas alinhadas a um manejo adequado (Lepsch, 2010).

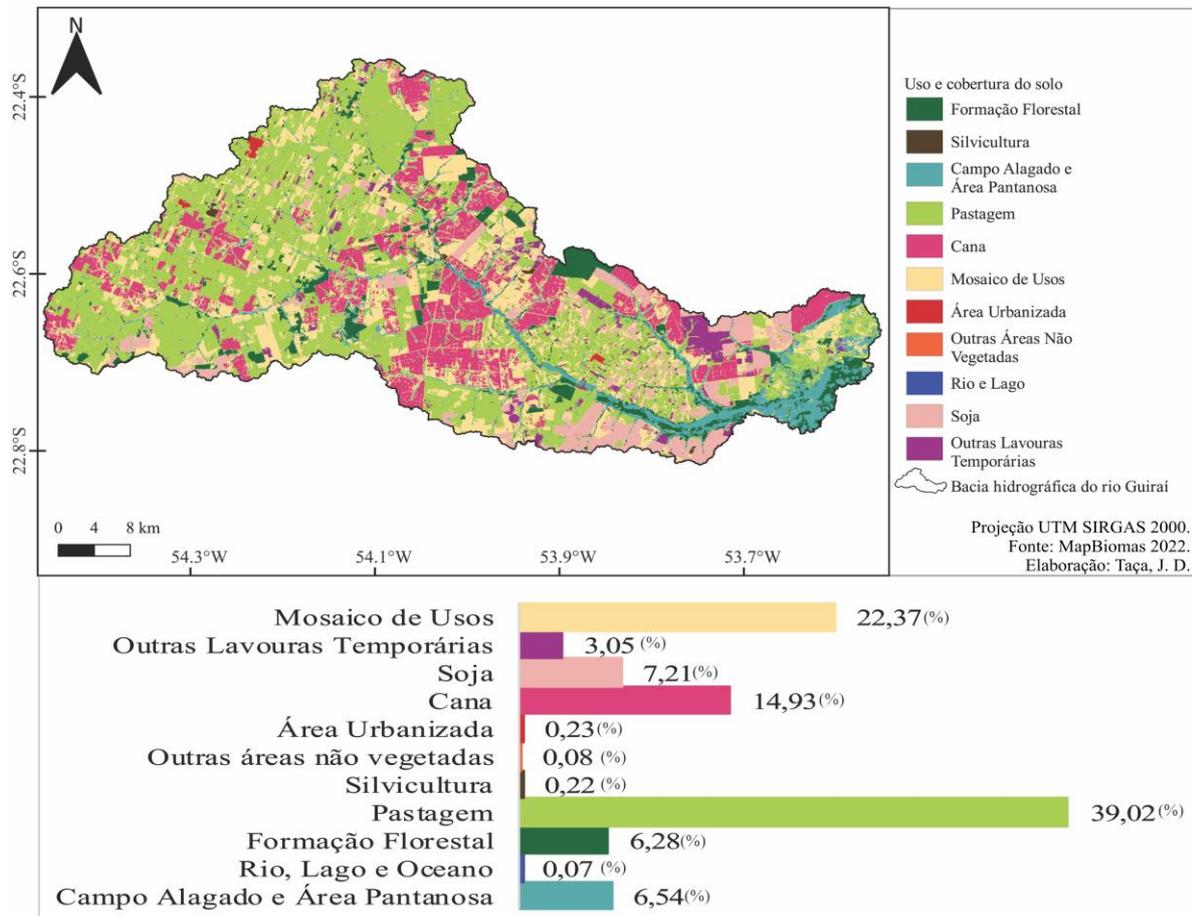
Os Planossolos possuem horizontes superficiais de textura mais arenosa sobre um horizonte superficial de constituição bem mais argilosa e adensada. São solos constituídos por material com horizonte A ou E, seguido de horizonte B plânico. São imperfeitamente drenados, de baixa permeabilidade e muito susceptíveis à erosão, em geral, moderadamente ácidos a praticamente neutros (Lepsch, 2010). Os Argissolos são caracterizados por apresentar uma diferença marcante entre o horizonte A e B, sendo que o horizonte B textural deve apresentar argila de atividade alta a baixa, e o horizonte A ou E deve ser mais arenoso. Os Argissolos se desenvolvem em ambientes tropicais e úmidos e, quando associados a áreas montanhosas e com declividades acentuadas, são suscetíveis à erosão.



**Figura 8.** Solos da bacia hidrográfica do rio Guiraí.

A bacia hidrográfica do rio Guiraí apresenta predominância de uso agrícola, com poucas áreas urbanizadas identificadas (Figura 9). A classe que possui o maior destaque é a pastagem e mosaicos de usos, ocupando uma grande área distribuída por toda a bacia. Em segundo lugar aparece o cultivo de cana de açúcar. As florestas (Formação Florestal)

aparecem com pouca expressividade e geralmente não acompanha todos os cursos hídricos. No baixo curso do rio, observam-se áreas alagadas e pantanosas, que fazem parte da ampla planície de inundação do rio Paraná, localizada em sua margem direita.



**Figura 9.** Uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Guiraí.

## 6. METODOLOGIA

As avulsões foram identificadas de acordo com o conceito estabelecido por Stevaux e Latrubesse (2017), que caracteriza avulsão pela divergência de uma parte ou todo o fluxo hídrico, que resulta em uma outra posição na planície de inundação. As erosões foram identificadas de acordo com o conceito estabelecido por Hernani et al. (2002), que define erosões lineares como aquelas caracterizadas pela formação de canais de diferentes tamanhos, os quais, em determinados momentos concentram água. Para a identificação desses processos (avulsão e erosão), utilizaram-se imagens de satélite disponíveis na ferramenta de imagens históricas do Google Earth Pro, abrangendo o período de 2000 a 2024. Não realizamos trabalhos de campo para reconhecer os processos analisados, o que limita a profundidade da nossa análise. A principal limitação foi o fato de as terras da bacia do rio Guiraí serem privadas, o que impediu a realização de trabalhos de campo. Apesar de acreditarmos que isso

traria maior precisão aos resultados, também houve restrições logísticas e de tempo. Assim, as conclusões devem ser interpretadas considerando essas limitações.

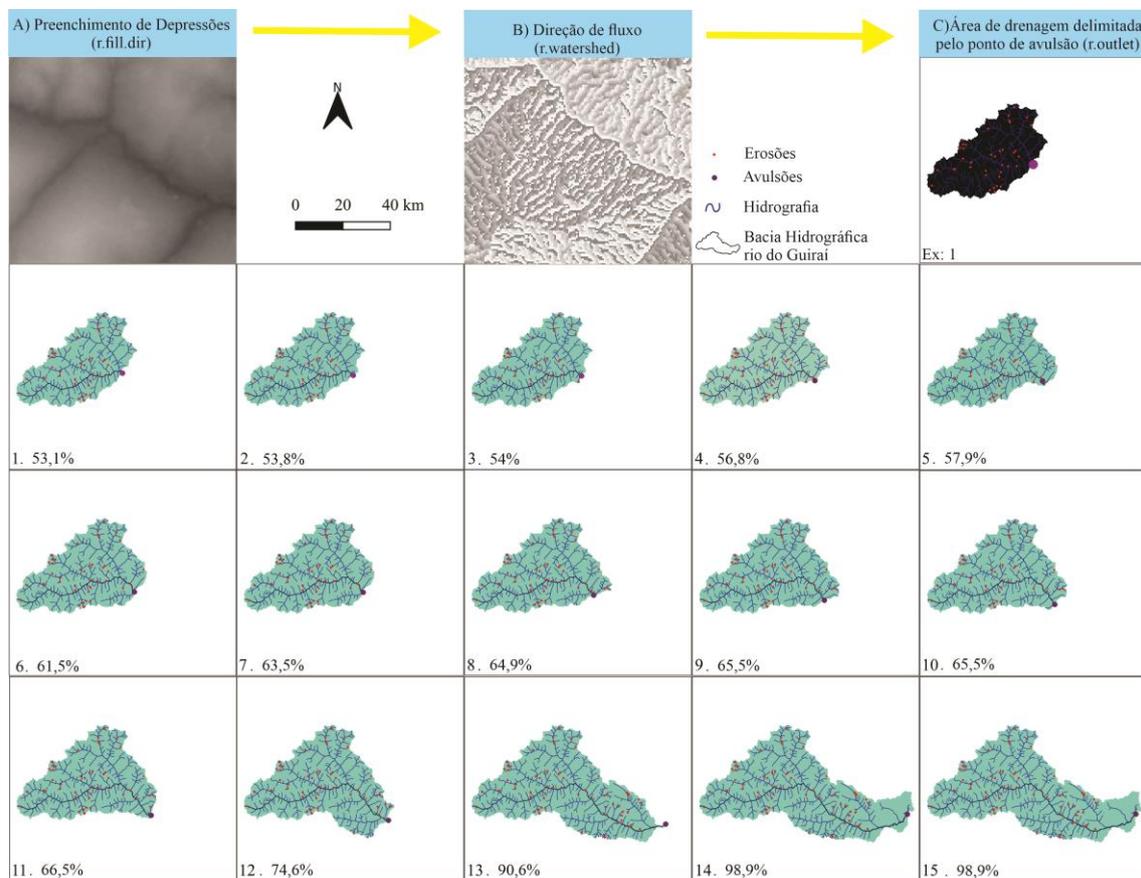
Para a classificação do estilo de avulsão, utilizou-se como base a concepção de Slingerland e Smith (2004), que diferencia a avulsão em três categorias principais: anexação, incisão e progradação. Este estudo reconheceu como avulsões por anexação aquelas em que o canal de avulsão se estabeleceu, em parte ou totalmente, sob um paleocanal ou canal de planície de inundação, indicando uma interação significativa com as estruturas geológicas preexistentes. As avulsões por incisão foram reconhecidas como aquelas estabelecidas na ausência de paleocanais ou canais de planícies de inundação preexistentes em segmentos do canal de avulsão. Por progradação foram classificados os processos que se iniciaram com uma rede de distribuição (crevasse splay).

O estudo analisou o tempo médio necessário para a avulsão se tornar completa. Quando não foi possível obter imagens anteriores ao processo de avulsão, ou quando a avulsão não completou (transferiu todo seu fluxo), a duração não foi determinada. Foram realizadas tentativas para preencher esta lacuna por meio de outras fontes de imagens além do Google Earth Pro. No entanto, devido à escala do processo (alguns rios com menos de 30m de largura) e o ano que teve início, não foi possível determinar a duração de algumas avulsões. Para avaliar a variação longitudinal do processo de avulsão ao longo do rio Guiraí, foi calculado o índice longitudinal de avulsão, o qual indica a localização da avulsão no comprimento total do canal (Taça; Morais, 2023). O índice é calculado a partir da razão entre o comprimento parcial de onde ocorre a avulsão até a confluência com outro rio (CP) e o comprimento total deste rio (CT). Valores próximos de 0 indicam que o processo ocorre no trecho inferior próximo à confluência do rio afetado com avulsão (Taça; Morais, 2023).

Para analisar a área de drenagem de cada avulsão, foi utilizado o software QGIS juntamente com o Modelo Digital de Elevação (MDE). O MDE foi essencial para fornecer os dados topográficos necessários ao cálculo da área de drenagem da bacia hidrográfica. Foram usadas imagens do FABDEM V1-2, uma versão atualizada do FABDEM V1-0, que é um modelo digital de elevação global. O FABDEM foi retrabalhado para remover distorções causadas pela altura de edifícios e árvores presentes no Modelo Digital de Elevação (MDE) do Copernicus GLO 30, proporcionando uma análise mais precisa. O modelo digital FABDEM V1-2 também foi utilizado para gerar o perfil longitudinal do rio.

Para gerar as áreas de drenagem, inicialmente foi realizada a preparação da camada raster do Modelo Digital de Elevação (MDE). Utilizou-se a ferramenta **r.fill.dir** do GRASS GIS (Figura 12.A), que removeu as depressões do modelo, evitando conflitos durante a

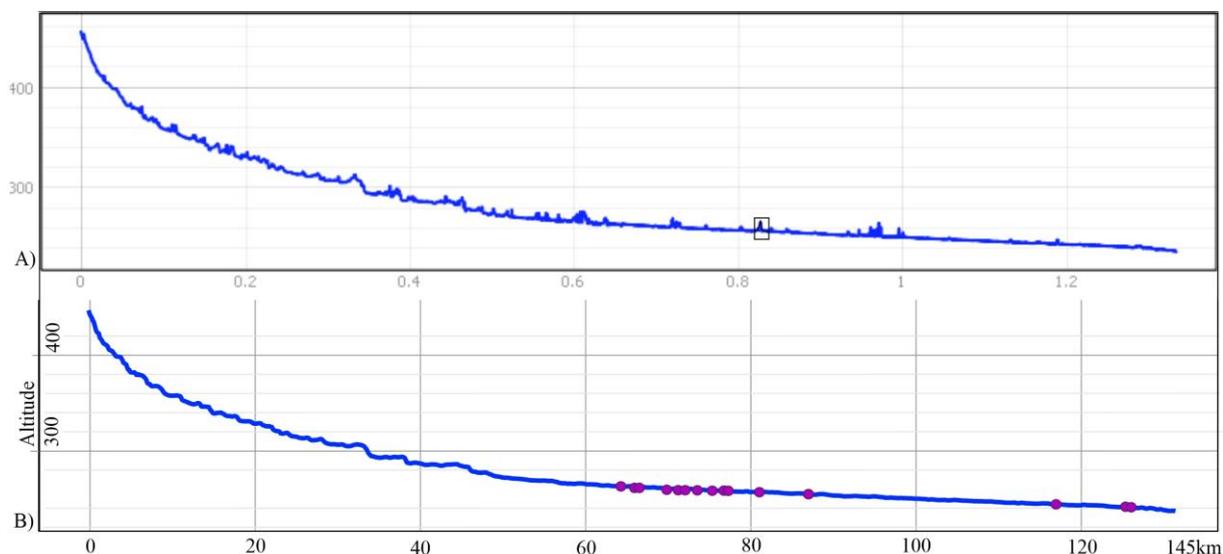
geração das áreas de drenagem. Em seguida, a ferramenta **r.watershed** (Figura 10.B), foi aplicada para calcular a direção de fluxo e determinar como a água se movimentaria na bacia hidrográfica. Com a direção de drenagem definida, a ferramenta **r.outlet** (Figura 10.C), foi utilizada para extrair as áreas de drenagem a partir dos pontos de avulsão que foram considerados como exutório. Cada ponto de avulsão foi considerado ao longo do cálculo para gerar a camada raster correspondente. Após a geração dessa camada raster, foi convertida para vetor dando seguimento com a análise. Foram analisadas 15 avulsões, resultando no cálculo de 15 áreas de drenagem, expressas em quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>), obtidas por meio da calculadora de campo utilizando a fórmula \$area. Além disso, também foi analisado o número de avulsões ocorridas dentro de cada área de drenagem.



**Figura 10:** Procedimentos para a geração das áreas de drenagem, considerando os processos de avulsão como estuários e a área percentual em relação à área total.

Para gerar o perfil longitudinal do rio Guiraí, foi utilizado o modelo de MDE FABDEM V1-2. A ferramenta utilizada para gerar o mapa foi o *Profile Tools*, tendo como camada de entrada o MDE. A linha de entrada corresponde ao vetor que define o traçado do rio Guiraí. A ferramenta extrai as informações altimétricas do MDE a partir do traçado do rio. No entanto, o perfil apresentou aclives, onde a tendência seria de declive (Figura 11. A). O perfil foi então corrigido no CorelDRAW (Figura 11.B), eliminando os picos de valores

altimétricos e interpolando manualmente para se aproximar o máximo possível do real. Os pontos de avulsão foram plotados no gráfico para entender melhor sua localização no perfil longitudinal.



**Figura 11.** A) Perfil Original. B) Perfil corrigido no Corel Draw.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

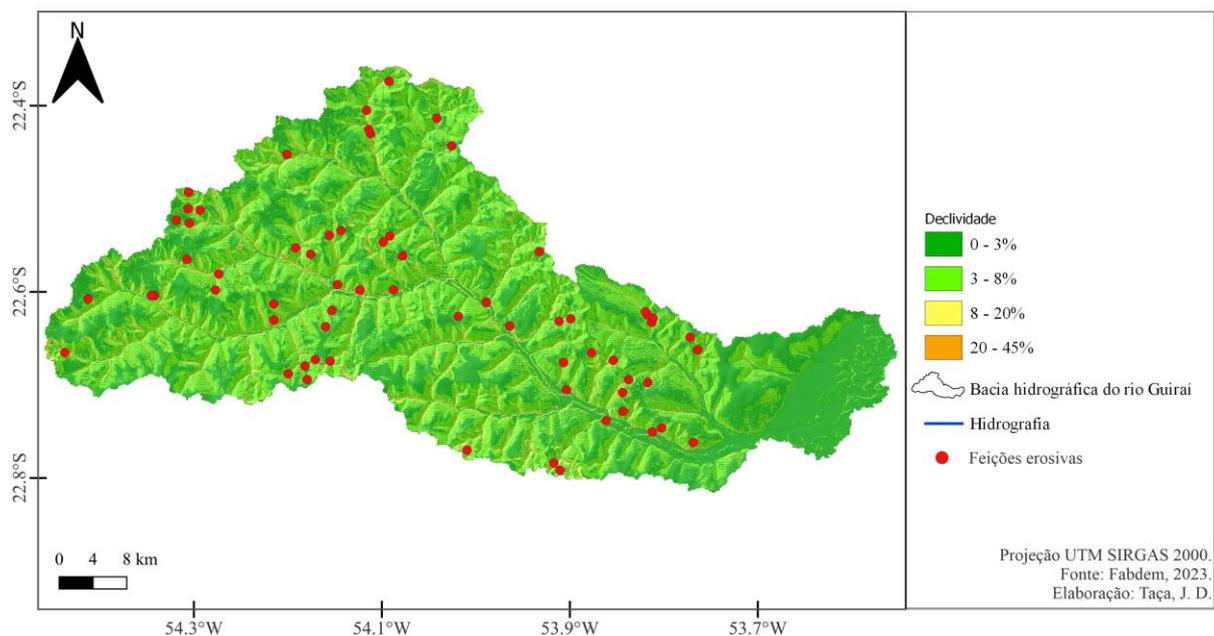
### 7.1 Erosões

Foram identificadas 65 ocorrências de erosão na bacia hidrográfica do rio Guiraí (Figura 12). Algumas ocorrências foram registradas nas áreas adjacentes às nascentes, caracterizando-se como erosões regressivas. Os processos se desenvolvem predominantemente sobre as rochas areníticas, derivadas do grupo Caiuá. As erosões estão localizadas no alto e médio curso da bacia hidrográfica, e na baixa e média vertente, ocorrendo sobre os Latossolos vermelhos distróficos de textura média.

A identificação das áreas de erosão e sua intersecção com os dados do MapBiomass mostrou que a maior parte dos processos erosivos está associada às áreas de pastagem (52,3%), seguidas por regiões com mosaico de usos (29,2%), caracterizadas por um uso indeterminado, que pode incluir pastagem em estágio inicial e atividades agrícolas. Os resultados obtidos estão alinhados com os dados de Peixoto (2016), que identificou que 84% das erosões em Ivinhema, município localizado na bacia hidrográfica do rio Guiraí, ocorrem em áreas ocupadas pela pecuária, em vertentes de maior declividade e desprovidas de mata ciliar. Além disso, registraram-se ocorrências de erosão em áreas destinadas ao cultivo de cana-de-açúcar, em terrenos não vegetados e em lavouras temporárias.

Os processos erosivos ocorrem com maior frequência nas médias e baixas vertentes, especialmente em áreas com declividade entre 3% e 45%. A transferência dos sedimentos das

erosões para os rios e para a planície de inundação denomina-se conectividade lateral. Os resultados obtidos são concordantes parcialmente com a perspectiva apresentada por Thomaz (2019), que aponta a variação na taxa de transferência de sedimentos ao longo das diferentes faixas da vertente. Na faixa alta vertente, a erosão geralmente não ocorre, pois o escoamento não atinge o limite crítico de distância necessário para que o processo erosivo se desenvolva. Na média vertente, o aumento no volume e profundidade do fluxo frequentemente supera a resistência do solo, resultando no arraste de partículas. Já na baixa vertente, observa-se a deposição do material, devido à redução da velocidade do fluxo e à consequente diminuição da capacidade de transporte. Em nosso estudo, foram observadas erosões na faixa inferior da vertente.

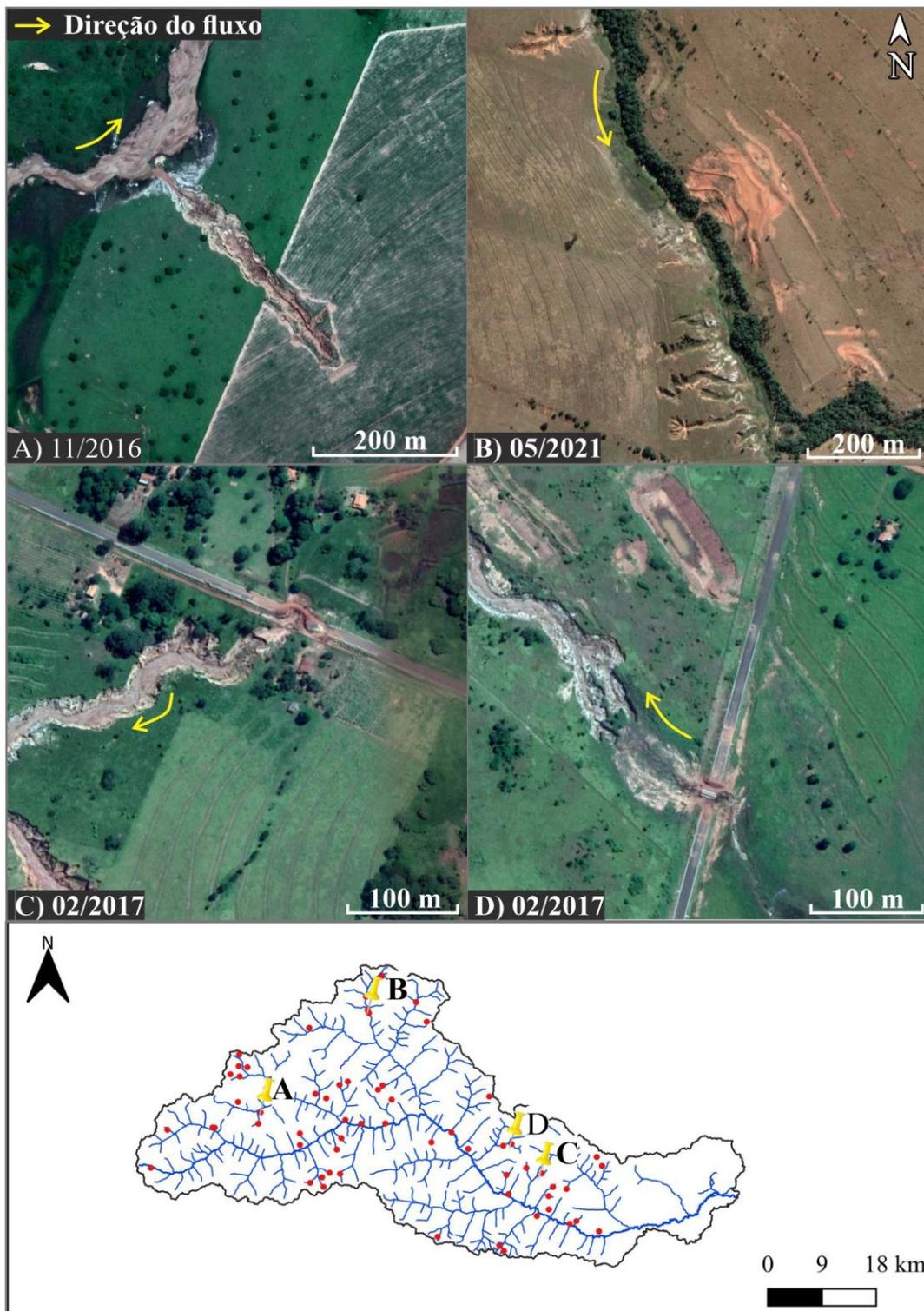


**Figura 12.** Classes de declividade.

A maior concentração de processos erosivos foi observada no alto curso da bacia hidrográfica do rio Guirai, com 49 erosões identificadas. Essa região é caracterizada por declividades elevadas, o que resulta em uma conectividade longitudinal eficiente (Wohl *et al.*, 2016, Brierley; Fryirs; Jain, 2006). Em vários trechos do alto curso observou-se a conectividade lateral de sedimentos dos processos erosivos fluindo diretamente para o canal (Figura 15. A e B) resultando no assoreamento dos canais fluviais. Esses processos geram um impacto acumulativo, agravando a degradação do canal, o que pode levar à ocorrência de avulsões.

Em dois desses processos erosivos (Figura 15. C e D), observou-se, o impacto em infraestruturas, com a destruição de trechos da rodovia MS-475, localizados a cerca de 3 km

de distância entre si. Algumas erosões regressivas foram observadas, caracterizadas pela erosão da base do canal em direção a montante (Figura 15. C e D).



**Figura 15.** A e B) Erosões nas vertentes, que se desenvolvem nas áreas adjacentes aos canais. Os sedimentos gerados são transportados pela ação da água, da energia hidráulica e da gravidade, entrando no ciclo sedimentológico. C e D) Erosões regressivas, que ocorrem com a escavação da nascente a montante, com potencial de erodir e transportar os sedimentos até o rio. Fonte: Google Earth Pro.

## 7.2 Avulsões

Os processos de avulsão ocorreram no canal principal, dos quais 11 transferiram todo o fluxo para o novo canal, caracterizando-se como avulsões completas. Quatro processos de avulsão ocorreram em 11 anos, uma em nove, três em oito, uma em seis e uma em quatro. O tempo necessário para as avulsões se tornarem completas variou entre 4 e 11 anos, foi semelhante a áreas com declividade muito maior. Jones e Harper (1998), que indicaram intervalos de 9 a 14 anos. Nas bacias de antepaís dos Andes e do Himalaia, um estudo revelou que as avulsões completas levaram, em média, 11 anos para se estabelecerem (Edmonds et al., 2016). Outra pesquisa demonstrou que, em uma avulsão por anexação, o canal de avulsão se alarga continuamente por 16 anos, ao mesmo tempo que o canal principal se estreita até ser abandonado (Valenza; Edmonds; Weissmann, 2022).

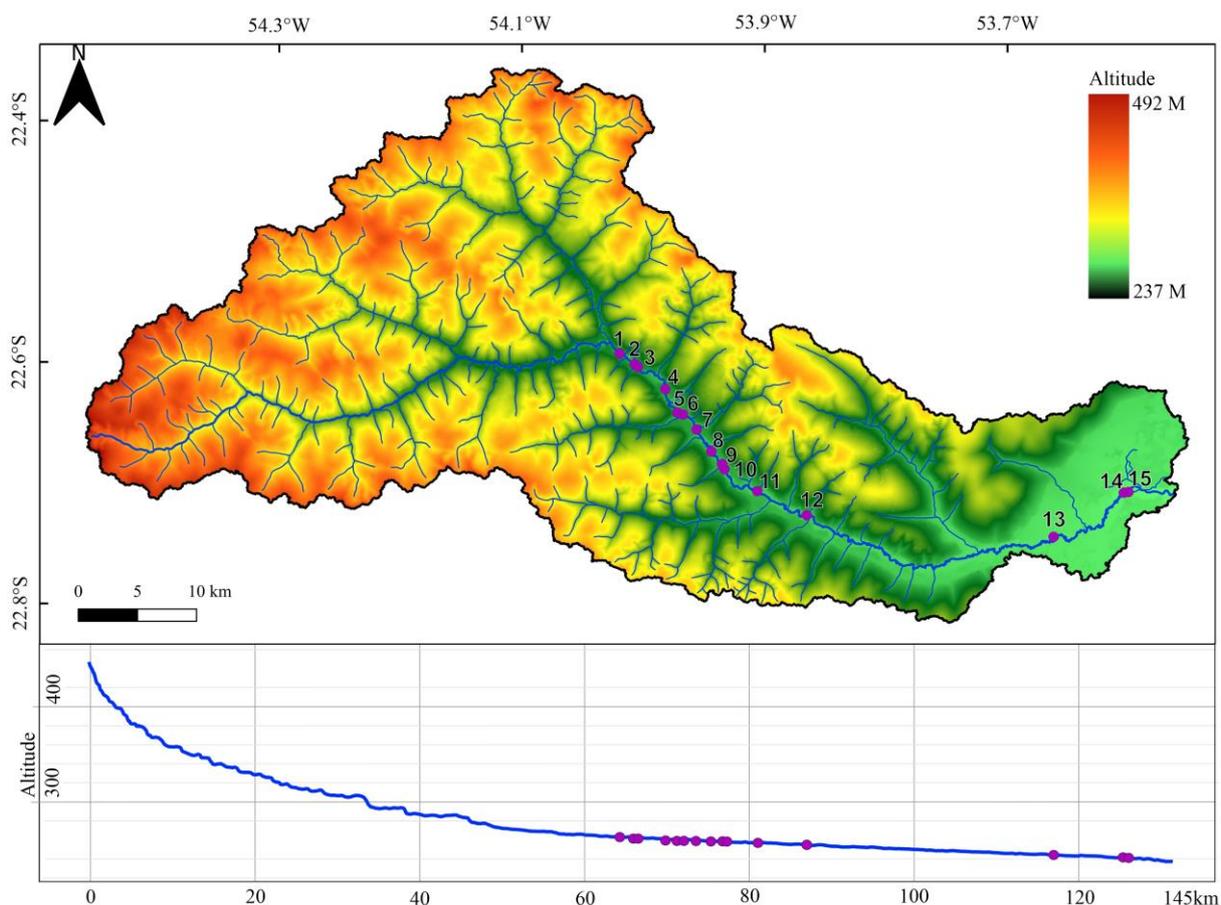
A maioria dos processos de avulsão (12) iniciou-se por incisão ou anexação, enquanto três tiveram início por progradação. Esse resultado é consistente com o estudo de Valenza et al. (2020), que descobriram que a anexação é o estilo de avulsão dominante, embora em paisagens com contexto geomorfológico distinto nos Andes, Himalaia e Nova Guiné. Outro estudo constatou que, das 55 avulsões mapeadas nas bacias de antepaís dos Andes e do Himalaia que ocorreram entre 1984 e 2014, mais da metade dos processos de avulsão (60%) foi por anexação (Edmonds *et al.*, 2016). As avulsões por anexação normalmente são bem-sucedidas e alcançam o estágio completo, porque as características do sistema primordial podem facilitar a acomodação do fluxo, quando este compartilha da mesma configuração morfométrica e hidrológica de um regime anterior (Valenza; Edmonds; Weissmann, 2022).

A Figura 16 ilustra o antes e depois de um processo de avulsão por anexação no rio Guiraf. Não foi possível determinar com precisão os anos de início e término do processo, pois em algumas regiões no Google Earth Pro as imagens não estão disponíveis para todos os anos. No entanto, sabe-se que a duração mínima desse processo foi de 11 anos. A Figura 16.A, de março de 2010, mostra o canal principal e, ao lado, um canal de planície de inundação que, posteriormente, foi ocupado pelo fluxo do canal de avulsão. O canal de avulsão se aproveita da forma do canal de planície de inundação, e provavelmente retrabalha alargando e aprofundando o leito para acomodar o novo fluxo. Na Figura 16.B de junho de 2021, a avulsão já está completa, e o que antes era o canal principal atualmente é um paleocanal. Ainda nesta imagem, se percebe a ausência de água e as marcas do antigo canal delineados com as árvores que desenvolvem nos diques marginais, formando um tipo de contorno.



**Figura 16.** Avulsão por anexação no rio Guirai, caracterizada pela ocupação parcial ou total de um canal preexistente. A) Canal principal. B) Canal de avulsão. Fonte: Google Earth Pro, 2024.

As avulsões ocorrem concentradas no médio e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Guirai, em dois trechos do perfil longitudinal, onde há uma diminuição da declividade (Figura 17).



**Figura 17.** Distribuição das avulsões no perfil longitudinal do rio Guirai.

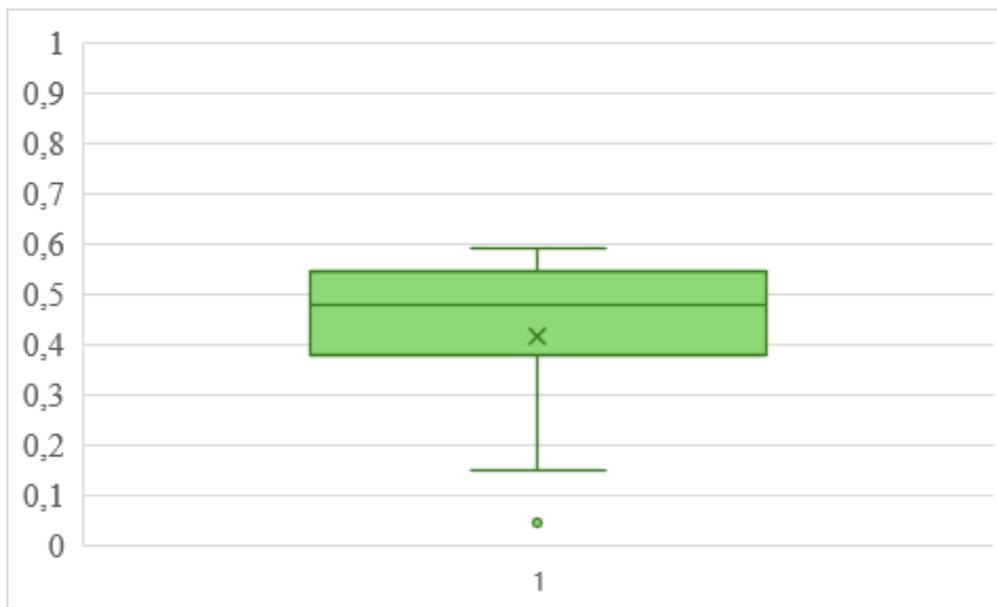
O rio Guirai tem um comprimento total de 145 km. A primeira avulsão observada no sentido de montante para jusante, ocorre a cerca de 60 km da nascente e a uma altitude de

aproximadamente 270 m de altitude (Tabela 01). A partir da primeira avulsão, ocorreram mais 11 processos de avulsão em sequência com menor intervalo de distância entre um processo e outro. Esse trecho possui aproximadamente 23 km, com o último desse agrupamento (avulsão 12) ocorrendo a uma altitude de 250 m (Tabela 01). Após esse agrupamento de avulsões, há um trecho de 33 km sem ocorrência. Três avulsões ocorrem novamente em sequência nas proximidades da confluência com o rio Ivinhema, em um trecho de aproximadamente 15 km, com o primeiro evento desse agrupamento localizado a 245 m de altitude e o último a 241 m.

Avulsões no rio Guirai	Comprimento parcial de avulsão (km)	Comprimento restante (km)	Intervalo (km)	Índice Longitudinal
1	85,63	59,57	0	0,590
2	83,88	61,31	1,74	0,57
3	83,53	61,67	0,35	0,57
4	78,91	66,29	4,62	0,54
5	75,60	69,60	3,30	0,52
6	74,98	70,22	0,62	0,51
7	72,43	72,77	2,55	0,49
8	69,22	75,98	3,21	0,47
9	67,29	77,91	1,92	0,46
10	66,67	78,53	0,62	0,45
11	61,32	83,88	5,35	0,42
12	54,68	90,52	6,64	0,37
13	21,29	123,91	33,38	0,14
14	7,07	138,13	14,22	0,05
15	6,31	138,89	0,75	0,04
Comprimento Total (km)		145,20		

**Tabela 1.** Análise dos processos de avulsão no comprimento total do Rio Guirai. Processos ordenados no sentido montante-jusante da bacia hidrográfica. Comprimento parcial de avulsão: distância em km do ponto de avulsão até a foz no rio Ivinhema. Comprimento restante: distância em km da nascente até o ponto de avulsão. Intervalo: distância em km do processo de avulsão em relação ao anterior. Índice longitudinal: Comprimento parcial dividido pelo comprimento total.

A primeira avulsão possui o maior valor do índice longitudinal, de 0,590, o que indica que o primeiro processo ocorreu a montante da metade do comprimento total do canal. O menor valor registrado foi 0,044, correspondente à última avulsão, próxima à confluência do rio Guirai com o rio Ivinhema. A média do índice longitudinal das avulsões nesta bacia hidrográfica foi de 0,417, sugerindo que os processos de avulsão ocorrem predominantemente na porção intermediária do comprimento total do canal (Gráfico 01).



**Gráfico 1.** Valores do índice longitudinal das avulsões, aplicado para os 15 processos.

A Tabela 2 apresenta os dados relativos aos 15 processos de avulsão e suas áreas de drenagem. Observa-se que a quantidade de processos erosivos aumenta ao longo das avulsões, de 38 na avulsão 1 para 49 na avulsão 12. Em seguida, há um intervalo de avulsões e a ocorrência de mais 16 processos erosivos em uma área de 358,209 km<sup>2</sup>, para que uma nova avulsão volte a ser registrada. A análise das erosões acumuladas revela uma dinâmica interessante, onde o número total de erosões aumentou consideravelmente até a avulsão 12; depois, há um intervalo, e então ocorre uma diminuição tanto de erosões quanto de avulsões.

Avulsões no rio Guiraf	Área de drenagem a montante (km <sup>2</sup> )	Aumento da área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Número de erosão a montante de cada avulsão	Aumento das erosões
1	1192,38	--	38	--
2	1207,48	15,10	38	0
3	1212,94	5,45	39	1
4	1274,47	61,53	41	2
5	1299,70	25,22	41	0
6	1380,60	80,90	41	0
7	1425,09	44,48	44	3
8	1457,99	32,90	44	0
9	1470,16	12,17	44	0
10	1471,20	1,03	44	0
11	1492,16	20,96	45	1
12	1675,19	183,03	49	4
13	2033,40	358,20	65	16
14	2220,47	187,07	65	0
15	2221,17	0,70	65	0

**Tabela 2.** Análise de cada área de drenagem da bacia hidrográfica. Avulsões no rio Guiraí: Processos ordenados no sentido montante-jusante da bacia hidrográfica. Área de drenagem a montante: Área em km<sup>2</sup> a montante do ponto de avulsão. Área de drenagem acumulada: Área em km<sup>2</sup> somada a partir do processo anterior. Número de erosão a montante de cada avulsão: Quantidade de erosão. Erosão acumulada: Número de processos somado ao processo anterior.

### 7.3 A Conectividade entre Erosões e Avulsões

A análise da paisagem neste estudo sugere que, ao menos parcialmente, há uma relevante contribuição das erosões para o processo de avulsão. Foram identificadas e analisadas 65 erosões na bacia hidrográfica do rio Guiraí, ocorridas entre 2000 e 2024. O levantamento temporal mostrou que a maior parte das erosões teve início antes de 2005, com algumas ainda permanecendo ativas até o presente momento, ou seja, um processo de longa duração. A maioria das avulsões, por sua vez, ocorreu entre 2010 e 2020, indicando uma provável correlação entre esses processos. A bacia hidrográfica do rio Guiraí apresenta extensas áreas agrícolas sobre solos frágeis. As erosões se desenvolvem no alto e médio curso da bacia hidrográfica, e na média e baixa vertente, sobre os Latossolos vermelhos distróficos, de textura média. Nessa área, também ocorrem rochas do grupo Caiuá, e, próximo à foz, na baixa vertente, encontram-se as coberturas cenozoicas indiscriminadas.

Das 65 erosões, 34 (52,3%) ocorrem em áreas de pastagem. Outras 19 (29,2%) erosões ocorrem em mosaico de usos, caracterizado por apresentar um uso indeterminado, podendo incluir pastagem em estágio inicial e agricultura. O restante dos processos está distribuído entre os usos de outras lavouras temporárias, outras áreas não vegetadas, campo alagado e formação florestal. Estudos indicam que esse padrão de uso, quando associado a condições semelhantes de paisagem potencializa os processos erosivos e o assoreamento dos rios. No rio Taquari, no Pantanal, amplas áreas destinadas à pecuária e ao cultivo de grãos nos planaltos areníticos, aceleram a erosão, e conseqüentemente, intensificam a deposição de sedimentos no baixo curso do rio (Mercante *et al.*, 2007). Crepani *et al.* (2001) acrescentam que coberturas artificiais, como pastagens e culturas perenes e anuais, são vulneráveis à erosão devido à menor densidade da vegetação, o que resulta na perda da proteção do solo e no aumento do escoamento superficial da água.

A Figura 18 mostra o antes e depois da avulsão (6), associada à erosão de uma vertente, provocada pelo manejo inadequado do solo, em que o uso é pastagem. Na Figura 18.A, de março de 2010, se observa que o canal principal está se assoreando devido à deposição de sedimentos provenientes da erosão que ocorre na vertente adjacente. Essa imagem exemplifica o processo descrito por Thomaz (2019), em que vertentes com uso agrícola, podem facilitar o transporte de sedimentos, provocando mudanças significativas

tanto na paisagem local quanto nas propriedades físicas do solo. Na Figura 18. A, também se observa leques de espraiamento, que em alguns casos, podem favorecer a avulsão e até mesmo iniciar a abertura do canal. Este processo é consistente com que aponta Mohrig et al. (2000), de que o acúmulo contínuo de sedimentos leva à aggradação do leito, forçando o curso do rio a buscar novos caminhos. Durante esse processo, ocorre a formação de leques de espraiamento (*crevasse-splay*) sobre a planície de inundação (Mohrig *et al.*, 2000).



**Figura 18.** Avulsão por anexação, ocasionada pelo bloqueio do canal principal. A) Canal principal com a presença de leques de espraiamento (*crevasses*). B) Canal de avulsão captando praticamente todo o fluxo. Fonte: Google Earth Pro.

Na Figura 18.B, de setembro de 2018, a avulsão por anexação já está completa. O leque deposicional formado pelo processo erosivo provoca uma obstrução significativa no fluxo, forçando o canal principal a romper o dique marginal. Avulsões causadas por outros tipos de bloqueios já foram documentadas. No rio Niobrara, em Nebraska, EUA, o congestionamento de gelo atuou como gatilho, forçando a água contra uma área baixa do dique (Ethridge; Skelly; Bristow, 1999). Frequentemente, obstruções (*logjams*) surgem em rios no sudoeste da Amazônia, resultando em inundações que podem desencadear avulsões fluviais (Lombardo, 2017). No entanto, leques deposicionais gerados por erosão ainda não haviam sido reportados como bloqueio completo do fluxo e causa intrínseca para as avulsões. A avulsão (6) ilustra como a erosão na vertente funcionou como gatilho (bloqueio) para o início do processo de avulsão. O canal de avulsão, uma vez iniciado se aproveita do final de um pequeno trecho tributário do outro lado da margem. As unidades

geomorfológicas, tais como paleocanais, bacias de inundação, lagos de ferraduras presentes na planície de inundação, influenciaram a seleção e direção do canal de avulsão (Morais; Prates; Rocha, 2014; Morais; Rocha, 2016).

A primeira avulsão na bacia hidrográfica do rio Guiraí ocorre na confluência do córrego Pirajuí com o rio Guiraí (Figura 19), onde os dois canais do alto curso se encontram e há uma redução na declividade longitudinal. A montante desse processo foram mapeadas 38 erosões, em uma área de drenagem de 1.192km<sup>2</sup>. As erosões a montante contribuem para o aporte de sedimentos nos sistemas fluviais. O acúmulo gradual e contínuo de sedimentos ao longo de um perfil longitudinal (conectividade longitudinal) resulta em assoreamento, diminuindo a razão entre a profundidade do leito e o dique. A diminuição da declividade resulta em perda da conectividade longitudinal e da energia necessária para o transporte de água e sedimentos em determinadas áreas (Wohl *et al.*, 2016). Esse resultado é consistente com (Ganti *et al.*, 2014), que descobriu que as avulsões em Huayankou, ocorreram na transição do planalto para planície, onde há uma mudança na inclinação e diminuição na capacidade de transporte de sedimentos.

Esse processo (Figura 19) é desencadeado pelo rompimento do dique marginal, direcionando a água para a planície de inundação e gerando inicialmente um alagamento e posteriormente o seu estabelecimento e alargamento do canal de avulsão. No antigo canal, a quantidade de água diminui consideravelmente, embora ele ainda seja inundado durante os períodos de cheia, mantendo algum nível de conectividade lateral com a planície de inundação. Os processos erosivos a montante contribuem para uma carga sedimentar elevada no rio, justamente em um ponto onde ele perde declividade e energia para transportar esses sedimentos.

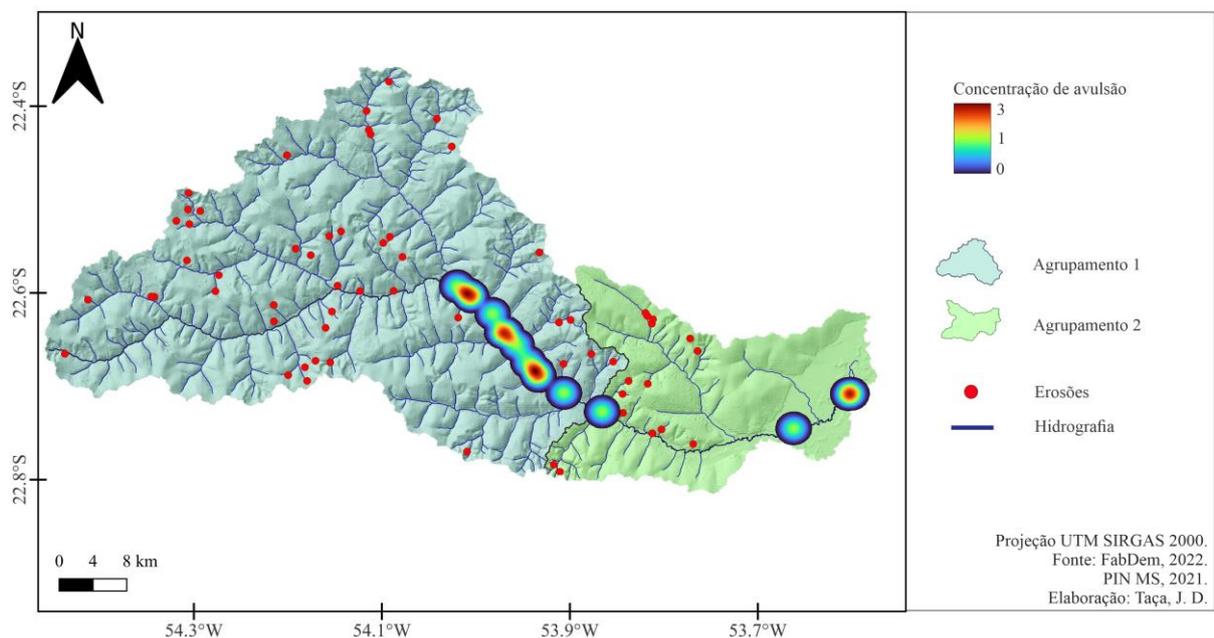
O rompimento do dique ocorre entre 2015 e 2018. O canal de avulsão ganha vantagem de forma contínua e assume o papel de principal condutor de água e sedimentos. O canal antigo, por sua vez, torna-se continuamente ineficiente para acomodar a água sedimentos. Assim, a avulsão é um reflexo direto da incapacidade do antigo canal de continuar desempenhando sua função de transporte de água e sedimentos, agravada pela erosão nas áreas a montante e pela alteração do regime fluvial.



**Figura 19:** Avulsão 1, após a confluência do rio Pirajuí com o rio Guiraí.

A ocorrência de 49 erosões em uma área de de 1.675,198 km<sup>2</sup> (Agrupamento 1), contribui para o impacto do rio de maneira cumulativa, afetando o canal rio a jusante e influenciando nas 12 avulsões (Figura 20). É provável que avulsões seja, uma resposta aos sedimentos originados das erosões no alto curso. Como já mencionado, em alguns desses processos é possível observar a conexão direta dos sedimentos advindos da vertente para o canal fluvial e seu leito. O agrupamento de 12 avulsões se desenvolve em uma área de redução da declividade longitudinal e do gradiente ao longo de um trecho de aproximadamente 23 km, o que resulta na perda de energia e na redução da capacidade de transporte de sedimentos.

A redução da inclinação, associada aos sedimentos provenientes de múltiplas erosões a montante, são fatores a serem considerados no processo de assoreamento, os quais podem explicar o surgimento do primeiro agrupamento de avulsões. Esse agrupamento inicial sugere uma resposta aos impactos acumulados dos processos erosivos. Uma vez que a diminuição da profundidade do leito devido ao assoreamento é apontada como uma das causas da avulsão, conforme Mohrig et al. (2000). A ocorrência do agrupamento 2 considerou, como exutório, a avulsão 15, e teve a área de drenagem do agrupamento 1 subtraída. A erosão nessas áreas está novamente sedimentando o rio, criando condições favoráveis para o surgimento de novas avulsões.



**Figura 20.** Agrupamento das avulsões em duas áreas de influência das erosões

## 8. CONCLUSÃO

A análise dos processos erosivos e das avulsões na bacia hidrográfica do rio Guiraí revela a dinâmica das erosões/assoreamento e seus impactos no regime fluvial, com a formação de avulsões. A pesquisa identificou 65 feições erosivas e 15 processos de avulsão. A bacia hidrográfica do rio Guiraí é um exemplo da conectividade lateral das erosões na vertente com o canal fluvial. As mudanças causadas pelos processos de avulsão parecem ser uma resposta ao assoreamento do rio, especialmente em áreas com grande número de erosões. As avulsões, ocorridas entre 2010 e 2020, e as erosões iniciadas antes de 2005, revelam uma relação entre os processos, com a erosão atuando como gatilho para as mudanças no curso do rio. As erosões predominam em áreas de pastagem (52,3%) e em mosaicos de uso do solo (29,2%), o que indica a forte influência do uso inadequado do solo, como o pastoreio excessivo e o cultivo em áreas suscetíveis. A erosão ocorre principalmente nas vertentes de

declividade entre 3% e 20%, associada aos Latossolos vermelhos distróficos e rochas do grupo Caiuá. Os sedimentos são transportados pela conectividade longitudinal da alta e média vertente para a baixa. O assoreamento dos rios favorece a avulsão. Em um caso extremo, notou-se a conectividade lateral de sedimentos, resultando no barramento do rio e no conseqüente processo de avulsão.

As 15 avulsões identificadas na transição do médio para o baixo curso da bacia são resultado da perda de conectividade e da sedimentação. Essas alterações no curso do rio refletem a ineficiência do canal em transportar os sedimentos acumulados, devido à diminuição da declividade no trecho de aproximadamente 23 km. A análise dos índices longitudinais e das áreas de drenagem indica que as avulsões se concentram em trechos onde o rio perde energia. A formação de dois agrupamentos sequenciais de avulsões foi observada. O primeiro ocorreu na transição do médio para o baixo curso da bacia, ao longo de 23 km, onde a declividade do terreno diminuiu consideravelmente. Esse agrupamento foi marcado por 12 avulsões, desenvolvendo-se de forma contínua e cumulativa, com aumento do número de erosões a montante. Os sedimentos originados nas vertentes, especialmente nas áreas de pastagem e agricultura, foram transportados para o canal principal, favorecendo o assoreamento e a formação de novos canais de avulsão. O segundo agrupamento ocorreu nas proximidades da confluência do rio Guiraí com o rio Ivinhema, em um trecho de cerca de 15 km, onde foram observadas três novas avulsões. Esse intervalo de tempo reflete uma redução no número de erosões na área de drenagem, mas, ainda assim, a carga sedimentar acumulada ao longo do tempo foi suficiente para desencadear esses novos eventos de avulsão.

## 9. REFERÊNCIAS

BRACKEN, L. J. TUMBULL, L. WAINWRIGHT, J. BOGAART, P. Sediment connectivity: A framework for understanding sediment transfer at multiple scales. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 40, n. 2, p. 177–188, 1 fev. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3635>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.3635>. Acesso em 02 jul. 2024.

**MATO GROSSO DO SUL**. Decreto nº 9278, de 17 de dezembro de 1998. Aprova a criação do Parque Estadual das Várzeas do rio Ivinhema, MS. Mato Grosso do Sul, 1198.

**BRASIL**. Decreto s/nº, de 30 de setembro de 1999. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná, nos Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. Brasília, 1997.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; JAIN, V. Landscape connectivity: The geographic basis of geomorphic applications. **Area**, v. 38, n. 2, p. 165–174, jun. 2006. DOI: <https://rgs->

[ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1475-4762.2006.00671.x](https://ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1475-4762.2006.00671.x). Disponível em: <https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1475-4762.2006.00671.x>. Acesso em 28 jun. 2024.

BROOKE, S. CHADWICK, A. SILVESTRE, J. LAMB, M. EDMONDS, D. GANTI, V. Where rivers jump course. **Science**, v. 376, n. 6596, maio 2022. DOI: 10.1126/science.abm1215. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abm1215>. Acesso em: 20 jun. 2024.

CABRAL, J. B. P. Estudo do Processo de Assoreamento em reservatório. **Caminhos de Geografia. Uberlândia**. v. 6 n.14, p. 62-69, fev. 2005. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG61415371>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15371>, Acesso em: 15 jun. 2024.

CHAKRABORTY, T. *et al.* Kosi megafan: Historical records, geomorphology and the recent avulsion of the Kosi River. **Quaternary International**, v. 227, n. 2, p. 143–160, 15 nov. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618209004455>. Acesso em: 23 ago. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.12.002>.

CREPANI, E. MEDEEIRO, J. S. HERNANDEZ FILHO, P. FLORENZANO, T. G. DUARTE, V. BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, jun. 2001. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/agnesaraujo/geoprocessamento/aps/bibliografia/Crepani.pdf/view>. Acesso em: 13 jun. 2024.

EDMONDS, D. A. HAJEK, E. A. DOWNTON, N. BRYK, A. B. Avulsion flow-path selection on rivers in foreland basins. **Geology**, v. 44, n. 9, p. 695–698, 1 set. 2016. DOI:10.1130/G38082.1. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/305460871\\_Avulsion\\_flow-path\\_selection\\_on\\_rivers\\_in\\_foreland\\_basins](https://www.researchgate.net/publication/305460871_Avulsion_flow-path_selection_on_rivers_in_foreland_basins). Acesso em: 23 may 2024.

ETHRIDGE, F.G. SKELLY, R. L. BRISTOW, C. **Avulsion and crevassing in the sandy, braided Niobrara River: Complex response to base-level rise and aggradation**. In: Smith, ND e Rogers, J., Eds., *Sedimentologia Fluvial VI*, International Association of Sedimentologists, Special Publication N. 28, p. 179-192, 1999. DOI:<https://doi.org/10.1002/9781444304213.ch13>.

FRANCESCHET, I. ALMEIDA, F. T. FREDDI, O. S. ALVES SOBRINHO, T. ANDRADE, R. L. T. CAVALET, F. SOUZA, A. P. DEMARQUI, E. N. PANACHUKI, E. ARANTES, K. R. Efeito dos sistemas de uso e manejo do solo sobre os processos erosivos na microbacia do Rio Caiabi. In: LIMA, J. E. F. W.; LOPES, W. T. A. (Eds.). **Engenharia de Sedimentos; na busca de soluções para problemas de erosão e assoreamento**. Brasília. p. 123–134.

FRANCO, V. V.; SOUZA, J. O. P. DE. Conectividade de sedimentos na Bacia Hidrográfica Riacho do Tigre, ambiente semiárido no município de São João do Tigre-PB. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 23, n. 3, p. 697–711, 7 out. 2019. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/151940/158264>. Acesso em 09 de mai. 2024.

FRYIRS, K. (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: A fresh look at the sediment delivery problem. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 1, p. 30–46, jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.3242>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/esp.3242>. Acesso em: 27 de jun de 2024.

FORTES, E. **Geomorfologia do baixo curso do rio Ivinhema, MS: uma abordagem morfo genética e morfoescultural**. 2003. 210 f. Tese (Tese de doutorado em Geociências) – Área de concentração em Geociências e Meio Ambiente. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

GANTI, V. CHU, Z. LAMB, P. M. NITTROUER, J. A. PARKER, G. Testing morphodynamic controls on the location and frequency of river avulsions on fans versus deltas: Huanghe (Yellow River), China. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 22, p. 7882–7890, 28 nov. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014GL061918>. Disponível em: [Testing morphodynamic controls on the location and frequency of river avulsions on fans versus deltas: Huanghe \(Yellow River\), China - Ganti - 2014 - Geophysical Research Letters - Wiley Online Library](https://doi.org/10.1002/2014GL061918). Acesso em 07 ago. 2024.

GIANNINI, P. C. F.; MELO, M. S. Do grão à rocha sedimentar: erosão, deposição e diagênese. In: **Decifrando a Terra**. 2º ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. p. 240–273, 2009.

GUERRA, J. T. A. JORGE, M. C. O. RANGEL, L. A. BEZERRA, J. F. R. LOUREIRO, H. A. S. GARRITANO, F. N. EROSÃO DOS SOLOS, DIFERENTES ABORDAGENS E TÉCNICAS APLICADAS EM VOÇOROCAS E EROSÃO EM TRILHAS. **William Morris Davis - Revista de Geomorfologia**, [S. l.], v. 1, n.1 p. 75–117, jun. 2020. Disponível em: [//williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/16](http://williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/16). Acesso em: 19 set. 2024.

HENSON, R. T.; EDMONDS, D. A.; LAZARUS, E. D. Remotely sensed land-cover change and floodplain disturbance following upstream-migrating river avulsions in tropical rainforests. **River Research and Applications**, v. 40, n. 4, p. 559–574, 1 may. 2024. DOI: 10.1002/rra.4256. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rra.4256>. Acesso: Acesso em: 10 mar. 2024.

HERNANI, L. C. FREITAS, P. L. PRUSKI, F. F. MARIA, I. C. CASTRO FILHO, C. LANDERS, J. N. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. cap. 5, p. 47-60. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124240>. Acesso em: 19 set. 2024.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL – IMASUL. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Ivinhema**. Campo Grande – MS, abr. 2015. Disponível em: <http://www.servicos.ms.gov.br/imasuldownloads/planosdebacia/PLANOIVINHEMA.pdf>. Acesso em 20 de jun. 2024.

JONES, L. S. SCHUMM, S. A. **Causes of Avulsion: An Overview**. In: Smith, ND e Rogers, J., Eds., *Sedimentologia Fluvial VI*, International Association of Sedimentologists, Special Publication N. 28, p. 179-278, 1999. DOI:<<https://doi.org/10.1002/9781444304213.ch13>> .

JONES, L. S.; HARPER, J. T. Channel avulsions and related processes, and large-scale sedimentation patterns since 1875, Rio Grande, San Luis Valley, Colorado. **GSA Bulletin**, v. 110, n. 3, p. 411–421, abr. 1998. DOI: [https://doi.org/10.1130/00167606\(1998\)110<0411:CAARPA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/00167606(1998)110<0411:CAARPA>2.3.CO;2). Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/110/4/411/183350/Channel-avulsions-and-related-processes-and-large>. Acesso em: 15 jul. 2024.

KLEINHANS, M. G. JAGERS, H. R. A. MOSSLMAN, E. SLOFF, C. Bifurcation dynamics and avulsion duration in meandering rivers by one-dimensional and three-dimensional models. **Water Resources Research**, v. 44, n. 8, ago. 2008. DOI: 10.1029/2007WR005912. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007WR005912>. Acesso em: 24 jul 2024.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. Oficina de texto ed. São Paulo, 2010

LOMBARDO, U. River logjams cause frequent large-scale forest die-off events in southwestern Amazonia. **Earth System Dynamics**, v.8, n.3, p. 565–575, July 2017. DOI: <https://doi.org/10.5194/esd-8-565-2017>. Disponível em: <https://esd.copernicus.org/articles/8/565/2017/>. Acesso em: 27 mai. 2024.

LOUZADA, R. O. BERGIER, I. MCGLUE, M. M. ROQUE, F. O. RASBOLD, G. DOMINGOS-LUZ, L. LO, E. ASSINE, M. L. Fluvial avulsions influence soil fertility in the Pantanal wetlands (Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 926, 20 May 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172127>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969724022708>. Acesso em: 24 maio 2024.

MERCANTE, M. A. GARNÉS, S. J. A. PAIVA, L. A. SANTOS, E. T. NOGUEIRA, A. X. Alterações causadas por avulsão no rio Taquari, no Pantanal Mato-Grossense. **Revista RA'EGA**, n. 13, p. 75–84, jun. 2007. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/viewFile/4995/9083#:~:text=No%20leque%20aluvial%20do%20Rio,navega%C3%A7%C3%A3o%20e%20as%20atividades%20econ%C3%B4micas>. Acesso em: 23 ago. 2024.

MOHRIG, D.; HELLER, P.; PAOLA, C.; LYONS, W. Interpreting avulsion process from ancient alluvial sequences: Guadalupe-Matarranya system (northern Spain) and Wasatch Formation (western Colorado). **GSA Bulletin**, v. 112, n.2, p. 1787–1803, dez. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2000\)112<1787:IAPFAA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2000)112<1787:IAPFAA>2.0.CO;2). Disponível em: <https://www.scinapse.io/papers/2305168329>. Acesso em: 20 ago. 2024.

MORAIS, E. S. DE; ROCHA, P. C. Formas e Processos Fluviais associados ao padrão de canal meandrante: O baixo rio do Peixe, SP. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17, n. 3,

1 set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i3.813>. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/813>. Acesso 01 de mar. 2024.

MORAIS, E. S.; PRATES, R.P.; ROCHA, P.C. Fatores geomorfológicos determinantes do **processo de avulsão**: o vale aluvial do rio do Peixe, SP. **Revista Geonorte**, [S. l.], v. 5, n. 20, p. 309–314, jan. 2014. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1567>>. Acesso em: 15 jan. 2024.

MORÓN, S.; AMOS, K.; EDMONDS, D.; PAYENBERG, T.; SUN, X.; THYER, M. Avulsion triggering by El Niño-Southern Oscillation and tectonic forcing: The case of the tropical Magdalena River, Colombia. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 129, n. 9–10, p. 1300–1313, set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1130/B31580.1>. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/129/9-10/1300/207636/Avulsion-triggering-by-El-Nino-Southern?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 22 set. 2024.

Movimentação portuária, Impulsionado pelo agronegócio, portos elevam a economia brasileira. Assessoria Especial de Comunicação Social. Ministério de Portos e Aeroportos, set. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2024/09/impulsionado-pelo-agronegocio-portos-elevam-a-economia-brasileira>. Acesso em: 20 jun. 2024.

Objetivos de desenvolvimento sustentável. **Nações Unidas Brasil**, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/15>. Acesso em: 20 ago. 2024.

PARANHOS FILHO, A. C. MIOTO, C, L. MACHADO, R. OLIVEIRA, J. R. S. Structural control on avulsions and drainage catches in the pantanal basin. **Anuario do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 3, p. 19–26, 2019. DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_3\\_19\\_26](http://dx.doi.org/10.11137/2019_3_19_26). Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/31179>. Acesso em: 17 jul. 2024.

Polícia ambiental autua infrator por voçoroca em nascentes do rio Guiraí em Novo Horizonte do Sul. **Jornal da Nova**, abr. 2021. Disponível em: <https://jornaldanova.com.br/noticia/413526/policia-ambiental-autua-infrator-por-vocoroca-em-nascentes-do-rio-guirai-em-novo-horizonte-do-sul>. Acesso em: 14 jul. 2024.

POTUCEK, M. J.; EVANS, J. E. Avulsion Dynamics in a River with Alternating Bedrock and Alluvial Reaches, Huron River, Northern Ohio (USA). **Open Journal of Modern Hydrology**, v. 09, n. 01, p. 20–39, 2019. DOI: 10.4236/ojmh.2019.91002. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=90110>. Acesso em: 05 apr. 2024.

ROCHA, P. C. Sistemas rio planície de inundação: Geomorfologia e conectividade hidrodinâmica. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v.1, n. 33, p.50-67, jan./jul.2011. Disponível em : <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/1953>. Acesso em 30 jun. 2024.

SAH, R. K.; NAGESH KUMAR, D.; DAS, A. K. Avulsion distribution on rivers in the Himalayan foreland region. **Hydrological Sciences Journal**, v. 67, n. 14, p. 2175–2190, nov. 2022. DOI:10.1080/02626667.2022.2136000.

SANTORO, JAIR. Erosão Continental. In: **Desastres Naturais Conhecer para Prevenir**. 1. ed. São Paulo: Instituto Geológico. p. 53–71, 2009.

SANTOS, M. L. MORAIS, E. S. Produção de sedimentos em bacia hidrográfica de pequena ordem: Uso de modelos matemáticos, bacia do Ribeirão Maringá, Paraná – Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 139–150, abr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v13i2.370>. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/370/291>. Acesso em: 24 ago. 2024.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. Rima ed. São Carlos, 2004.

SLINGERLAND, R.; SMITH, N. D. River avulsions and their deposits. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 32, p. 257–285, dez. 2004. DOI: 10.1146/annurev.earth.32.101802.120201. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.earth.32.101802.120201>. Acesso em: 2 may. 2024.

SORRELLS, R. M.; ROYALL, D. Channel bifurcation and adjustment on the upper Yadkin River, North Carolina (USA). **Geomorphology**, v. 223, p. 33–44, 15 out. 2014. DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.06.020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X14003213>. Acesso em: 25 jul. 2024.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. Oficina de textos ed. São Paulo: 2017.

STEVAUX, J.C.; SOUZA, I.A. Floodplain construction in an anastomosed river. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p. 55–65, dec. 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(03\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(03)00042-9). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618203000429>. Acesso em 20 abr. 2024.

STOUTHAMER, E. Avulsion Channel. In: **Encyclopedia of Planetary Landforms**. [s.l.] Springer New York, 2014. p. 1–10. DOI: 10.1007/978-1-4614-9213-9\_468-1. Disponível em: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-1-4614-9213-9\\_468-1](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-1-4614-9213-9_468-1). Acesso em 24 jul 2024.

TAÇA, D. J. MORAIS. E. S. A Avulsões recentes na bacia hidrográfica do alto rio Paraná: distribuição geográfica, características e significados. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 14, 2023, Corumbá. **Anais [...]**. Corumbá/ UGB - União da Geomorfologia Brasileira, 2023.

THOMAZ, L. E. Erosão do Solo: teorias, métodos e perspectivas. Editora CRV, Curitiba 2019.

VALENZA, J. M. EDMONDS, D. A. HWANG, T. ROY, S. Downstream changes in river avulsion style are related to channel morphology. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, 1 dez. 2020. DOI: 10.1038/s41467-020-15859-9. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-020-15859-9>. Acesso em: 12 jun 2024.

VALENZA, J. M.; EDMONDS, D. A.; WEISSMANN, G. S. Quantifying river avulsion activity from satellite remote sensing: implications for how avulsions contribute to floodplain stratigraphy in foreland basins. **Journal of Sedimentary Research**, v. 92, n. 6, p. 487–502, 1 jun. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/361019985> Quantifying river avulsion activity from satellite remote sensing Implications for how avulsions contribute to floodplain stratigraphy in foreland basins. Acesso em 13 jun. 2024.

VIEIRA, Y. S. S. STANTON, N. S. G. VILLENA, H. H. REBOUÇAS, R. C. et al. Impacto Antrópico no processo de assoreamento da enseada da Japuiba, Angra dos Ris (RJ). **Revista Geociências - UNESP**. São Paulo. v. 39, n. 2, p. 481 - 491, 2020. DOI:[10.5016/geociencias.v39i2.13463](https://doi.org/10.5016/geociencias.v39i2.13463). Disponível em: [geociencias,+13\\_13463\\_FINAL\\_FINAL](https://www.geociencias.unesp.br/revista-geociencias/v39i2/13463_FINAL_FINAL) (2). Acesso em 18 jun. 2024.

WOHL, E. RATHBURN, S. CHIGNELL, S. GARRET, K. LAUREL, D. LIVERS, B. PATTON, A. RECORDS, R. RICHARDS, M. SCHOOK, D. M. SUTFIN, A.N. WEGENER, P. Mapping longitudinal stream connectivity in the North St. Vrain Creek watershed of Colorado. **Geomorphology**, v. 277, p. 171–181, 15 jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.05.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X16302677>. Acesso em 04 de mai. 2024.

ZANANDREA, F. KOBAYAMA, M. MICHEL, G. P. Conectividade hidrossedimentológica: Uma abordagem conceitual. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 22, 2017. Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis/ABRH- Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

ZANANDREA, F. PAUL, L. R. MICHEL, G. P. KOBAYAMA, M. ZANINI, A. S. ABATTI, B. H. et al. Sediment connectivity: Concepts, principles and applications. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 2, p. 435–459, 1 set. 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(03\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(03)00042-9). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040618203000429>. Acesso em 28 de jul. 2024.