

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

RODRIGO BIZ WILLIG

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA MUDANÇA DE USO DO SOLO NA
CONECTIVIDADE HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO BAIO.**

Porto Alegre,

Maio de 2022

Rodrigo Biz Willig

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA MUDANÇA DE USO DO SOLO NA
CONECTIVIDADE HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO BAIO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Pesquisas
Hidráulicas da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Dra. Franciele Zanandrea.

Coorientador: Me. Bruno Henrique Abatti.

Porto alegre,

Maior de 2022

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, pelo acompanhamento constante, ensinamentos, discussões e parceria;

Ao meu coorientador, pelo acompanhamento, ensinamentos, discussões e parceria;

Aos colegas do Grupo de Pesquisa de Desastres Naturais da UFRGS, pelas discussões e companheirismo;

A todos os professores e professoras que fizeram parte da minha graduação, e inspiraram meu interesse pela pesquisa.

A banca avaliadora pela atenção e contribuições que enriqueceram o trabalho.

À minha família e amigos, pelo apoio, amizade e incentivo durante a graduação.

A minha namorada e colega, pela atenção, apoio durante a graduação e companheirismo.

RESUMO

A conectividade hidrossedimentológica é definida como a transferência de água e sedimentos entre compartimentos da paisagem, de qualquer fonte possível para determinado ponto de controle em um sistema onde o vetor de transporte é a água. Desta forma, a avaliação da conectividade é um importante passo para compreender o comportamento do sistema, prevendo assim, sua resposta a eventos e mudanças que podem ocorrer dentro da bacia hidrográfica. Mudanças no uso do solo das bacias tem um impacto significativo na dinâmica da água e sedimentos e, portanto, na conectividade. Neste trabalho foram realizadas análises da influência da mudança do uso do solo na conectividade hidrossedimentológica (em relação ao exutório) em uma pequena bacia, localizada nos Campos de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul, através da aplicação do índice de conectividade hidrossedimentológica (IHC). Para realização das análises, foram considerados 4 cenários distintos em que as classes de uso do solo da região foram mantidas, porém, tiveram sua área de cobertura modificadas. A aplicação do IHC foi realizada em 5 eventos com características hidrológicas diferentes (magnitudes, sedimentos disponíveis e umidade do solo antecedente). A análise entre os cenários mostrou a influência do uso do solo na bacia, que variou o padrão da conectividade hidrossedimentológica de acordo com o cenário. Os maiores valores do IHC foram encontrados nas classes de solo exposto (preparo agrícola) e atividades agrícolas. Os maiores pontos de desconectividade da bacia foram encontrados nas regiões de floresta nativa (capões) e floresta plantada. Essas regiões apresentam um grande potencial de retenção de sedimentos, tanto pela presença de floresta quanto de elementos de cobertura de paisagem (serrapilheira). Na análise entre os eventos, eventos antecedente e a condição de umidade do solo antecedente mostraram-se determinantes à estimativa da conectividade hidrossedimentológica da região.

Palavras-chave: Conectividade Hidrossedimentológica; índice de conectividade hidrossedimentológica; uso do solo.

ABSTRACT

Hydrosedimentological connectivity is defined as the transfer of water and sediment between landscape compartments, from any possible source to a given control point in a system where the transport vector is water. Thus, the assessment of connectivity is a key step in understanding the behavior of the system, therefore predicting its response to events and changes that may occur within the watershed. Changes in basin land use have a significant impact on water and sediment dynamics and, therefore, on connectivity. In this study, analyses of the influence of land use change on hydrosedimentological connectivity (in relation to the outflow) in a small watershed, located in Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul, were carried out by applying index of hydrosedimentological connectivity (IHC). To carry out the analyses, four different scenarios were considered in which the land use classes of the region were maintained, but had their coverage modified. The IHC was applied to five events with different hydrological characteristics (rainfall magnitude, available sediments and previous soil moisture). The comparative among the scenarios showed the influence of land use in the basin, which varied the pattern of hydrosedimentological connectivity according to the scenario. The highest IHC values were found in the classes of exposed soil (agricultural preparation) and agricultural activities. The highest points of disconnectivity in the basin were found in the regions of native forest and planted forest. These regions present a great potential for sediment retention, both due to the presence of forest and landscape cover elements. In the analysis between events, antecedent events and the antecedent soil moisture condition were shown to be determinant in estimating the hydrosedimentological connectivity of the region.

Keywords: Hydrosedimentological Connectivity; index of hydrosedimentological connectivity; land use.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GERAL	11
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. PROCESSOS HIDROLÓGICOS	12
3.1.1. Precipitação.....	14
3.1.2. Evaporação e evapotranspiração	14
3.1.3. Interceptação.....	15
3.1.4. Infiltração	16
3.1.5. Escoamento.....	17
3.2. PROCESSOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS	20
3.2.1. Desagregação e Destacamento.....	21
3.2.2. Transporte	21
3.2.3. Sedimentação e depósito.....	22
3.3. CONCEITUALIZAÇÃO DA CONECTIVIDADE DE SEDIMENTOS.....	24
3.4. CONECTIVIDADE DE SEDIMENTOS E CONECTIVIDADE HIDROSEDIMENTOLÓGICA	26
3.5. AVALIAÇÃO DA CONECTIVIDADE.....	31
3.6. ÍNDICE DE CONECTIVIDADE HIDROSEDIMENTOLÓGICA (IHC).....	32
3.7. INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO DO USO DO SOLO	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	37
4.2. MONITORAMENTO DA REGIÃO.....	43
4.3. MDT	44
4.4. CENÁRIOS.....	45
4.5. IMPEDÂNCIA.....	48
4.6. OBTENÇÃO DA LÂMINA DE ESCOAMENTO PELO MÉTODO DA CURVA NÚMERO.....	48
4.7. OBTENÇÃO DO <i>IPS</i>	50
4.8. APLICAÇÃO DO IHC	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1. MONITORAMENTO DA REGIÃO.....	51
5.2. CENÁRIOS.....	52
5.3. EVENTOS ANALISADOS	56

5.3.1. Índice de Conectividade Hidrossedimentológica aplicada aos eventos selecionados	56
5.3.2. Evento 1	57
5.3.3. Evento 2	61
5.3.4. Evento 3	66
5.3.5. Evento 4	69
5.3.6. Evento 5	72
5.4. ANÁLISE ENTRE EVENTOS	75
6. CONCLUSÃO	80
7. RECOMENDAÇÕES	83
8. REFERENCIAS	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquematização do ciclo hidrológico e das trocas entre a superfície terrestre e a atmosfera. (Fonte: adaptado de COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).....	13
Figura 2. Principais zonas de produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica. (Fonte: Adaptada de: CARVALHO, 2008).....	23
Figura 3. Ciclo hidrossedimentológico. (Fonte: adaptado de GUIRRO, 2018).....	24
Figura 4. Dimensões, componentes e características da conectividade de sedimentos. (A) conectividade Vertical, (B) conectividade lateral e (C) conectividade longitudinal. (Fonte: adaptado de ZANANDREA et al., 2020).....	27
Figura 5. Etapas gerais do trabalho realizado.	36
Figura 6. Localização da bacia hidrográfica do arroio Baio.....	37
Figura 7. Localização das bacias de interesse.....	38
Figura 8. Relevo da bacia do arroio Baio.	39
Figura 9. Declividade da bacia do arroio Baio.	39
Figura 10. Uso atual do solo da bacia do arroio Baio.....	40
Figura 11. (A) Solo utilizado para atividades agrícolas. (B) Região de mata nativa. (C) Região de campo. (D) Solo em preparação para agricultura (exposto).	41
Figura 12. Solo em preparação para atividades agrícolas na bacia do arroio Baio.	42
Figura 13. Área de reflorestamento e atividades agrícolas na bacia do arroio Baio.	42
Figura 14. Buffer da bacia do arroio Baio utilizado para o processamento do MDT no IHC.....	45
Figura 15. (A) Bacia hidrográfica do arroio Baio no ano de 2002 (Fonte: Google Earth). (B) Bacia hidrográfica do arroio Baio no ano de 2021 (Fonte: Google Earth). (C) Bacia hidrográfica do arroio Baio no ano de 2018 (Fonte: Google Earth)	47
Figura 16. Precipitação acumulada diária monitorada para o período analisado.	51
Figura 17. Série de dados da vazão monitorados para o período analisado.	52
Figura 18. Uso do solo da bacia do arroio Baio considerado no cenário (A) Atual; (B) Passado; (C) Hipotético A; e (D) Hipotético B.	55
Figura 19. Resultado do IHC aplicado ao Evento 1 nos diferentes cenários analisados: (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) Hipotético B.	59
Figura 20. Resultado do IHC aplicado ao Evento 2 nos diferentes cenários analisados: (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) Hipotético B.	63
Figura 21. Resultado do IHC aplicado ao Evento 3 nos diferentes cenários analisados: (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) Hipotético B.	68
Figura 22. Resultado do IHC aplicado ao Evento 4 nos diferentes cenários analisados: (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) Hipotético B.	71
Figura 23. Resultado do IHC aplicado ao Evento 5 nos diferentes cenários analisados: (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) hipotético B.....	74
Figura 24. Resultados da aplicação do IHC dos eventos por cenário. (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) Hipotético B.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos, fatores e processos/características das diferentes formas de conectividade dos sedimentos (Fonte: ZANANDREA, 2020).	25
Tabela 2. Componentes da conectividade hidrossedimentológica, fatores de influência e características dos processos.....	29
Tabela 3. Características dos equipamentos utilizados para monitoramento da região.	43
Tabela 4. Valores do Coeficiente de Manning e do fator RS para cada classe de uso do solo para a região da bacia do arroio Baio.	48
Tabela 5. Condições de umidade antecedentes consideradas para definição do valor de CN de cada evento.....	49
Tabela 6. Valor de CN de cada classe e condição de umidade do solo para a região do arroio Baio.	49
Tabela 7. Área de cobertura das classes de uso do solo dos cenários propostos.....	55
Tabela 8. Eventos selecionados para aplicação do IHC.....	57
Tabela 9. Resultados do evento 1 simulado para os cenários analisados.	60
Tabela 10. Resultados do evento 2 simulado para os cenários analisados.	63
Tabela 11. Resultados do evento 3 simulado para os cenários analisados.	68
Tabela 12. Resultados do evento 4 simulado para os cenários analisados.	71
Tabela 13. Resultados do evento 5 simulado para os cenários analisados.	74
Tabela 14. Resultado dos eventos simulados para todos os eventos e cenários.	77

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

A	Área de contribuição	m ²
AMC	Condição de Umidade do solo	-
d	Distância do caminho de fluxo	m
D _{dn}	Componente Jusante	-
D _{up}	Componente Montante	-
I _a	Perdas iniciais	mm
IC	Índice de Conectividade	-
IHC	Índice de Conectividade Hidrossedimentológica	-
I _{max}	Intensidade máxima do evento antecedente	mm/d
IPS	Índice de precipitação para sedimentos	-
n	Coefficiente de Manning	-
P	Precipitação	mm
Q _{runoff}	Escoamento Superficial no pixel	m
RI	Roughness index	-
S	Declividade	m/m
S _{CN}	Parâmetro de Armazenamento	-
V _{m-i}	Precipitação antecedente acumulada	mm
W	Fator de impedância	-
Δt _{m-i}	Duração do evento antecedente	h

1. INTRODUÇÃO

Problemas com a erosão do solo limitam o desenvolvimento socioeconômico sustentável, demandando o manejo adequada das bacias hidrográficas, principalmente ao que se refere ao ordenamento territorial. A intensificação dos processos erosivos é um dos principais problemas ambientais emergentes (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2007), o que se torna ainda mais grave em regiões declivosas, onde os processos se acentuam (CUNHA, 2016).

Existe uma dificuldade de representar, estimar e discutir os processos hidrossedimentológicos em escala de bacia, através das abordagens convencionais. Um tema atual que vem recebendo forte destaque na comunidade técnico-científica mundial sobre sedimentos é a conectividade. Conforme Wohl et al. (2018), a conectividade de sedimentos é um conceito que vem sendo muito utilizado na análise da dinâmica dos sedimentos, descrevendo a eficiência da transferência do material entre componentes da paisagem, como encostas e rios e/ou segmentos longitudinais, dentro de uma rede fluvial. Assim, a análise da conectividade vem se tornando uma abordagem muito valiosa na compreensão dos fluxos de escoamento e sedimentos nas bacias hidrográficas. (HOOKE; SOUZA; MARCHAMALO, 2021). A conectividade pode ser definida de acordo com o vetor de transferência (e.g. água), pelo material transferido (e.g. sedimentos) ou pela interação do vetor e do material transferido, como na conectividade hidrossedimentológica. A conectividade hidrossedimentológica é um conceito importante para o entendimento dos processos que ocorrem na bacia hidrográfica, representando a transferência física da água e dos sedimentos entre compartimentos da paisagem.

Dentre os diversos fatores que alteram a conectividade, muitos autores classificam o uso do solo como um dos principais elementos que influenciam a conectividade de sedimentos (COULTHARD E VAN DE WIEL, 2017; FOERSTER et al., 2014; HOOK, SOUZA, MARCHAMALO, 2021; LIU et al., 2021; LIZAGA et al., 2018; LLENA et al., 2019), evidenciando-se como é um fator chave e com impacto significativo na dinâmica de sedimentos de uma bacia hidrográfica. As mudanças de uso/cobertura do solo por intervenção humana

alteram a conectividade, intensificando processos hidrossedimentológicos naturais, como a erosão laminar (LIZAGA et al., 2018).

A região dos Campos de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul, vem sofrendo alterações no uso do solo. Krone e Menasche (2016) descrevem o histórico da região que, com o passar dos tempos expandiu suas atividades econômicas locais. A região que vivia da pecuária de corte e do Queijo Serrano passou a desenvolver atividades de fruticultura, de reflorestamento e de plantações (e.g. milho e batata). Assim, municípios localizados nos Campos de Cima da Serra, como São Francisco de Paula, já tem das atividades agrícolas a maior fonte de sustento de sua população (CAROLINE, PAULINO E BINKOWSKI, 2018).

Desta maneira, compreender a evolução da conectividade associada a diferentes usos da terra e mudanças topográficas é um pré-requisito para uma melhor compreensão dos balanços sedimentares e dos processos de transporte de sedimentos. (LLENA et al., 2019).

Uma maneira de avaliar a conectividade de sedimentos se dá por meio da utilização de índices. Os índices de Conectividade de Sedimentos são ferramentas capazes de analisar o potencial de uma paisagem em transferir sedimentos entre seus compartimentos. (LLENA et al., 2019). Diferentes índices de conectividade surgiram nos últimos anos, entre eles o índice de conectividade hidrossedimentológica (ZANANDREA et al., 2021), que se destaca por analisar a conectividade não só a partir da paisagem, mas considerando também o vetor de transporte.

A caracterização da conectividade permite avaliar as respostas hidrossedimentológicas da bacia, permitindo priorizar áreas de interesse direcionadas a manejo da água e solo. Deste modo, o presente trabalho buscará avaliar a influência da mudança do uso solo na conectividade hidrossedimentológica de uma pequena bacia localizada nos Campos de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul, através da aplicação do IHC.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a influência da mudança do uso do solo na conectividade hidrossedimentológica em uma pequena bacia hidrográfica, localizada nos Campos de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul, através da aplicação do índice de conectividade hidrossedimentológica (IHC).

2.2.OBJETIVO ESPECÍFICO

- Mapear as mudanças ocorridas no uso do solo da região dos Campos de Cima da Serra ao longo do tempo;
- Selecionar eventos com características distintas para avaliar fatores que influenciam a conectividade hidrossedimentológica da região de interesse, através da aplicação do IHC;
- Avaliar a conectividade hidrossedimentológica da região para diferentes cenários (passado, atual e hipotético A e B).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico perfaz a fundamentação teórica dos processos hidrológicos e hidrossedimentológicos e dos conceitos sobre conectividade de sedimentos. Com esse intuito, os primeiros itens buscam explicar os processos e a dinâmica de sedimentos que ocorrem na bacia hidrográfica. Em seguida, percorre sobre o conceito de conectividade de sedimentos, descrevendo as ferramentas utilizadas para sua avaliação. Por fim, são apresentados o conceito e uma ferramenta para avaliar a conectividade hidrossedimentológica.

3.1. PROCESSOS HIDROLÓGICOS

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (SILVEIRA, 2020).

O intercâmbio entre as circulações da superfície terrestre e da atmosfera, fechando o ciclo hidrológico, ocorre em dois sentidos (TUCCI, 2020^a):

- No sentido da superfície-atmosfera, onde o fluxo de água ocorre fundamentalmente na forma de vapor, como decorrência dos fenômenos de evaporação e de transpiração, este último, um fenômeno biológico.
- No sentido atmosfera-superfície, onde a transferência de água ocorre em qualquer estado físico, sendo mais significativas, em termos mundiais, as precipitações de chuva e neve.

A energia do sol resulta no aquecimento do ar, do solo e da água superficial, sendo responsável pela evaporação da água líquida e pela evapotranspiração da água do solo, através de plantas. O vapor de água é transportado pelo ar e pode condensar, formando nuvens. Em circunstâncias específicas, o vapor do ar condensado nas nuvens pode voltar a superfície da Terra na forma de evapotranspiração (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). A Figura 1 representa uma esquematização dos câmbios entre a superfície terrestre e a atmosfera.

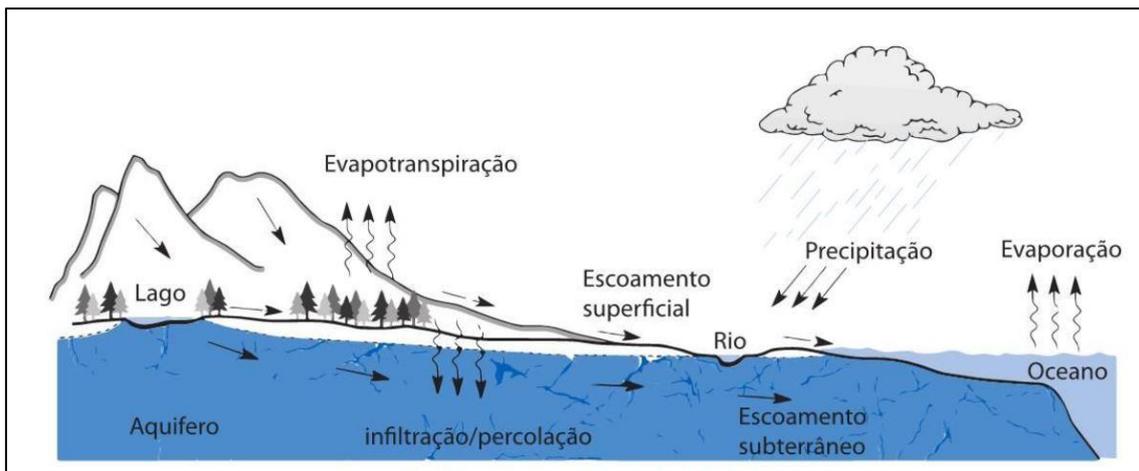


Figura 1. Esquemática do ciclo hidrológico e das trocas entre a superfície terrestre e a atmosfera. (Fonte: adaptado de COLLISCHONN; DORNELLES, 2015)

O ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre (por hidrólogos), onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica (SILVEIRA, 2020).

A bacia hidrográfica é uma unidade territorial básica para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Segundo Collischonn e Dornelles (2015), a bacia hidrográfica é a área de captação natural dos fluxos de água originados a partir da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório.

A bacia hidrográfica pode ser representada como um sistema físico sujeito a entradas de água (eventos de precipitação) que geram saídas de água (escoamento e evapotranspiração), transformando uma entrada concentrada no tempo (precipitação) em uma saída relativamente distribuída no tempo pelo escoamento (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Conforme descrito por Vestena (2008), os principais processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica são: precipitação, evapotranspiração, interceptação, infiltração, escoamento, percolação e o armazenamento de água no solo e subsolo.

3.1.1. Precipitação

A água que circula na atmosfera e que atinge a superfície terrestre, independente da forma, é denominada precipitação. A precipitação pode ocorrer na forma de chuva, neve, granizo, neblina, orvalho ou geada.

De acordo com Bertoni e Tucci (2020), a disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano é o fator determinante para quantificar entre outros, a necessidade de irrigação e o abastecimento de água doméstico e industrial. Por sua capacidade de produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia. Sendo as características principais da precipitação: seu total, duração e distribuições temporal e espacial. Para compreender melhor a precipitação, é de suma importância que suas características estejam atreladas entre si, pois de nada vale um valor de precipitação total sem a informação da sua duração. Ainda, conforme Collischonn e Dornelles (2015), a chuva é a causa mais importante dos processos hidrológicos de interesse da engenharia e é caracterizada por uma grande aleatoriedade no tempo e no espaço.

Segundo Martorano et al. (2017), a chuva pertence ao grupo de fatores que é responsável pela magnitude da erosão hídrica. Os autores citam também fatores como, intensidade e duração dos eventos pluviais, declividade do terreno e tipo de uso e cobertura do solo. Essa erosão pode causar a diminuição da capacidade produtiva dos solos e comprometer a sustentabilidade de propriedades rurais.

3.1.2. Evaporação e evapotranspiração

A evaporação e a evapotranspiração ocorrem quando a água líquida é convertida para vapor de água e transferida, neste estado, para a atmosfera. O processo somente poderá ocorrer naturalmente se houver o ingresso de energia no sistema, proveniente do sol, da atmosfera, ou de ambos e, será controlado pela superfície da Terra (TUCCI E BELTRAME, 2020).

As moléculas no estado líquido se encontram mais unidas por forças intermoleculares. Já no estado de vapor, as moléculas estão muito mais afastadas, o que leva uma força intermolecular muito inferior. Esse processo de

separação das moléculas é realizado no sentido contrário a força intermolecular, o que exige uma grande quantidade de energia. A quantidade de energia necessária para que uma molécula de água líquida evapore é chamada de calor latente de evaporação, e varia de acordo com a temperatura da água (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015).

Ainda, segundo Collischonn e Dornelles (2015), a evaporação é importante no ramo da engenharia pelas perdas de água que ocorrem em reservatórios e canais, enquanto a evapotranspiração por sua vez, influencia fortemente a quantidade de água da chuva que é transformada em vazão em uma bacia hidrográfica.

3.1.3. Intercepção

A intercepção é a retenção de água da chuva antes que ela atinja o solo. A intercepção ocorre nas folhas da cobertura vegetal, em caules e ramos, no material vegetal em decomposição sobre o solo (serrapilheira), e em depressões impermeáveis. A água da chuva retida por intercepção fica disponível para evaporação, e, portanto, o principal efeito da intercepção em uma bacia é aumentar a evaporação e reduzir o escoamento (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015).

O processo de intercepção interfere no balanço hídrico da bacia hidrográfica, funcionando como um reservatório que armazena uma parcela da precipitação. A tendência é de que a intercepção reduza a variação da vazão ao longo do ano, retarde e reduza o pico das cheias (TUCCI et al., 2020).

Linsley et al (1949) comenta que em certas condições, as perdas por intercepção vegetal podem chegar até 25% da precipitação anual.

A cobertura vegetal também tem grande relevância na contenção dos processos erosivos. Conforme observado por Júnior et al. (2008), a vegetação, ao realizar a intercepção das chuvas, amortece o impacto das gotas, evitando a desagregação das partículas de solo.

3.1.4. Infiltração

Infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo. Portanto é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes em seu interior. À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão se umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade (SILVEIRA et al., 2020).

De acordo com Collischonn e Dornelles (2015), a água no solo é sujeita aos processos de infiltração, percolação, ascensão capilar, evapotranspiração e redistribuição interna. A água no solo proporciona o crescimento vegetal, porque é no solo que se encontram as raízes das plantas que retiram a água necessária para o processo de transpiração. O armazenamento e os fluxos de água no solo também são importantes, pois realizam a recarga dos aquíferos.

O conceito de capacidade de infiltração é aplicado no estudo da infiltração para diferenciar o potencial que o solo tem de absorver água pela sua superfície, em termos de lâmina por tempo, da taxa real de infiltração que acontece quando há disponibilidade de água para penetrar no solo. Uma curva de taxas reais de infiltração no tempo somente coincide com a curva das capacidades de infiltração de um solo, quando o aporte superficial de água (proveniente de precipitações e mesmo de escoamento superficial de outras áreas) tem intensidade superior ou igual a capacidade de infiltração. (SILVEIRA et al., 2020)

Ainda, sob o ponto de vista da hidrologia superficial, a análise da infiltração e a dinâmica da água no solo tem a função de quantificar a geração de escoamento superficial. Assim, a água que infiltra no solo deixa de escoar superficialmente. Portanto, a redução da infiltração está diretamente relacionada com o aumento do escoamento superficial (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015). Deste modo, com a infiltração da água das chuvas ocasionando a diminuição do escoamento superficial, conseqüentemente há redução na erosão laminar (JÚNIOR et al., 2008).

3.1.5. escoamento

O deslocamento da água na superfície da bacia, nos rios, canais e reservatórios é uma das etapas mais importantes do ciclo hidrológico. Ainda, o comportamento do escoamento é regido por leis físicas e pode ser quantitativamente representado por variáveis como vazão velocidade e profundidade. A descrição do comportamento do escoamento é realizada através de equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento (TUCCI, 2020c).

Dentro da dinâmica de uma bacia hidrográfica, vazão é o volume de água que passa por uma determinada seção de um rio dividido por um intervalo de tempo. A vazão de um rio é o resultado da interação entre as precipitações e a bacia, dependendo das características da bacia que influenciam a infiltração, o armazenamento e a evapotranspiração. Sendo assim, o escoamento de uma bacia normalmente é estudado em duas partes: geração de escoamento e propagação de escoamento (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015).

Conforme Hornberger et al. (1998), o escoamento de uma bacia hidrográfica pode resultar de quatro caminhos de fluxos diferentes: precipitação direta sobre canais de escoamento, escoamento superficial, escoamento subsuperficial e escoamento subterrâneo.

Durante eventos de chuvas intensas, grande parte da vazão que passa por um rio é a água da própria chuva que não consegue infiltrar no solo e esco imediatamente, atingindo os cursos d'água, aumentando sua vazão e gerando os picos de vazão, cheias e enchentes. Segundo Collischonn e Dornelles (2015), o escoamento rápido, que ocorre em consequência direta das chuvas, é chamado de escoamento superficial direto. Já nos períodos secos, a vazão de um rio é mantida pelo esvaziamento lento da água armazenada na bacia, especialmente da água subterrânea dos aquíferos que descarregam para os cursos de água. Assim, o escoamento que ocorre durante as estiagens pode ser chamado de escoamento subterrâneo, porque a maior parte da água que está chegando ao rio via fluxo de água através do subsolo. O escoamento subterrâneo também é chamado de escoamento de base (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015).

Dependendo de fatores como a intensidade da chuva, parte da água não consegue infiltrar no solo e começa a se acumular na superfície. Em certas condições, a água começa a escoar sobre a superfície. Esse escoamento é denominado escoamento superficial e a geração do escoamento segundo Collischonn e Dornelles (2015) é um dos temas mais complexos da hidrologia porque a variabilidade das características de uma bacia é muito grande, fazendo com o que a água possa tomar vários caminhos, desde o momento que atinge a superfície, na forma de precipitação, até o momento em que chega de fato ao curso d'água.

Existem dois principais processos reconhecidos na formação do escoamento superficial: precipitação de intensidade excedente a capacidade de infiltração (Hortoniano); e precipitação sobre solos saturados (Dunniano).

De acordo com Vestena (2008), o mecanismo de geração de escoamento superficial Hortoniano ocorre em todas as partes da bacia, sendo mais importantes para bacias urbanas e em áreas com solo modificado pela ação do homem, porém, observa-se que em regiões florestadas e de clima úmido, o escoamento superficial está relacionado ao acúmulo de água pela saturação do solo até a superfície (escoamento Dunniano).

Em hidrologia a parcela da chuva que se transforma em escoamento superficial é chamada de chuva efetiva, ou precipitação efetiva. Existem vários métodos para estimar a chuva efetiva durante um evento. Um dos mais conhecidos é o método SCS, que foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (Soil Conservation Service) dos Estados Unidos (COLLISCHONN E DORNELLES, 2015).

O método SCS do Soil Conservation Service baseia-se na equação do balanço hídrico (1) e em dois conceitos fundamentais. O primeiro conceito (2) iguala a razão entre a quantidade real de escoamento superficial direto (Q) e a precipitação total (P) (ou escoamento superficial máximo potencial) com a razão entre a quantidade de infiltração (cumulativa) real (F) e a quantidade de potencial retenção máxima (S). O segundo conceito (3) relaciona a perda inicial (Ia) à retenção máxima potencial, correspondendo a 20% da máxima infiltração acumulada potencial (MISHRA E SINGH, 2002).

$$P = Ia + F + Q \quad (1)$$

$$\frac{Q}{P - Ia} = \frac{F}{S} \quad (2)$$

$$Ia = 0,2 \times S_{CN} \quad (3)$$

onde P é a precipitação ocorrida ao longo de um evento de chuva (mm); Ia são as perdas iniciais (acúmulo de água na superfície, interceptação e infiltração) em mm; F é a infiltração acumulada ao longo do evento de chuva (mm); Q é a chuva efetiva ou escoamento superficial do evento (mm) e S_{CN} é a máxima infiltração acumulada potencial.

Combinando as equações (1) e (2), obtém-se a fórmula popular da equação do método SCS (4).

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S_{CN}} \quad (4)$$

A Equação (4) é válida quando $P > Ia$ e $Q = 0$ quando $P \leq Ia$.

Ainda, como o parâmetro S_{CN} pode variar numa faixa de zero até infinito, e com análises experimentais em diversas bacias locais rurais nos Estados Unidos na década de 1950, foi recapeado um parâmetro que tenha uma faixa de valores mais condizentes, o parâmetro foi denominado CN (MISHRA E SINGH, 2002; COLLISCHONN E DORNELLES, 2015).

$$S_{CN} = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (5)$$

CN é um parâmetro adimensional cujo valor varia entre 0 e 100, sendo 0 correspondendo a um solo de capacidade de infiltração infinita e 100 correspondendo a um solo completamente impermeável. O valor de CN é dado em tabelas desenvolvidas a partir de experimentos em bacias pequenas nos Estados Unidos, e varia de acordo com o tipo e ocupação do solo (agrícola, pastagens, urbana, entre outros). Ainda, para estimar o parâmetro, são considerados quatro tipos de solos, em ordem crescente de potencial de geração de escoamento superficial: Tipo A, B, C e D. Entretanto, devido aos experimentos terem sido realizados em solos diferentes dos brasileiros, Sartori, Neto e

Genovez (2005), apontaram algumas dificuldades na aplicação do método no Brasil. Assim, os autores realizaram a adaptação e classificação hidrológica dos solos brasileiros para a aplicação do método SCS.

Ainda, Mishra et al. (2008) propuseram um método para agregar ao valor de CN a Condição de Umidade Antecedente do solo (*AMC*). Desta forma, é possível ajustar o valor de CN de modo que represente a condição antecedente de umidade do solo.

3.2. PROCESSOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS

O movimento da água, rumo à saída da bacia hidrográfica (exutório) é fomentado e direcionado de acordo com os obstáculos que ela encontrará. Esses obstáculos definem o caminho e a velocidade com que se deslocará, dissipando boa parte da energia ao propiciar a remoção e transporte de partículas sólidas. O deslocamento dos sedimentos carregados pelo escoamento superficial provoca o remanejo e a redistribuição de partículas sólidas pela bacia hidrográfica, afetando o uso, a conservação e o manejo dos recursos hídricos (BORDAS e SEMMELMANN, 2020).

Os processos hidrossedimentológicos são muito complexos, e abrangem a desagregação, transporte e a deposição das partículas do solo, podendo também serem chamados de processos de erosão hídrica (CARVALHO, 2008), podendo também ser chamados de processos erosivos de origem hídrica. O material a ser destacado do seu local de origem e transportado pela bacia é regido pelo grau de seletividade dos grãos que cada modalidade de erosão apresenta no processo de remoção e transporte, juntamente com a dinâmica hidrossedimentológica dos canais de drenagem da bacia (SILVA; SCHULZ; CAMARGO, 2003). Desta forma, o conceito de erosão está associado com o ciclo hidrossedimentológico. Conforme Silva, Schulz e Camargo (2003), a erosão pode ser entendida como o processo de desgaste e arrastamento da superfície da terra pela ação da água, vento, gelo, atividades humanas ou outros agentes naturais.

3.2.1. Desagregação e Destacamento

A desagregação se refere ao desprendimento de partículas sólidas do meio do qual fazem parte (solo). O processo pode ocorrer sob efeito de reações químicas, variações de temperatura, ações mecânicas ou outros fatores que não envolvem diretamente o ciclo hidrológico. Porém, precipitação é o processo que, após a ação do homem, mais contribui para a desagregação no Brasil (BORDAS e SEMMELMANN, 2020). Esse impacto pode ser provocado: pela ação da precipitação (impacto das gotas no solo), a infiltração da água e o escoamento superficial. Todo o processo tem por resultado deixar uma massa de partículas sólidas que se torna um estoque de material suscetível a ser posto em movimento pelas águas superficiais e outros processos de escoamento.

Sendo que, para as partículas mais finas, a coesão é a força de resistência responsável por mantê-las unidas, já para partículas como areia e materiais mais grosseiros a principal força de resistência é o próprio peso, portanto, uma vez que essas forças sejam superadas, haverá desagregação (BORDAS e SEMMELMANN, 2020). Assim, de acordo com Carvalho (2008), a umidade excessiva causa a perda da coesão do solo, ultrapassando os limites de plasticidade ou de liquidez, e causando a remoção de material sólido do meio (solo).

3.2.2. Transporte

Sobre o transporte de sedimentos, Vestena (2008) afirma que os sedimentos resultantes dos processos de erosão acabam sendo transportados principalmente pela ação do escoamento da água influenciado pelas condições locais e granulometria dos sedimentos. Porém, a erosão pelo impacto das gotas da chuva (*rainsplah*) compreende o desprendimento inicial de partículas do solo pelas gotas de chuva que atingem a superfície. Assim, se tornando também um fator importante para o transporte dos sedimentos. A quantidade de material desprendido do solo, o tamanho das partículas transportadas e a distância percorrida dependem das propriedades do impacto da gota de chuva e da superfície do solo (MARZEN et al., 2015).

Ainda, de acordo com Carvalho (2008), o transporte de sedimentos é função de aspectos que estão relacionados tanto com a partícula, como tamanho, peso e forma, assim como a velocidade da água, declividade do leito e forma do canal.

3.2.3. Sedimentação e depósito

Quando se fala em ciclo hidrossedimentológico, sedimentação é designada ao processo pelo qual as partículas mais finas transportadas em suspensão, tendem a restabelecer contato com o fundo do leito sob o efeito da gravidade. No processo de sedimentação, as partículas encontram resistência do meio fluido que as impede ou freia sua queda para o fundo, sobretudo por efeito da turbulência. (BORDAS E SEMMELMANN, 2020).

Vestena (2008) afirma que, a decantação é confundida com o depósito, porém, difere por poder continuar movimentando-se após entrar em contato com o fundo, de acordo com as forças hidrodinâmicas existentes. Já o depósito refere-se a parada total da partícula em suspensão recém sedimentada sobre o fundo ou daquela transportada por arraste (BORDAS E SEMMELMANN, 2020).

Sobre a dinâmica desses processos dentro de uma bacia hidrográfica, a Figura 2 mostra três diferentes zonas da bacia hidrográfica que diferem sobre a produção de sedimentos.

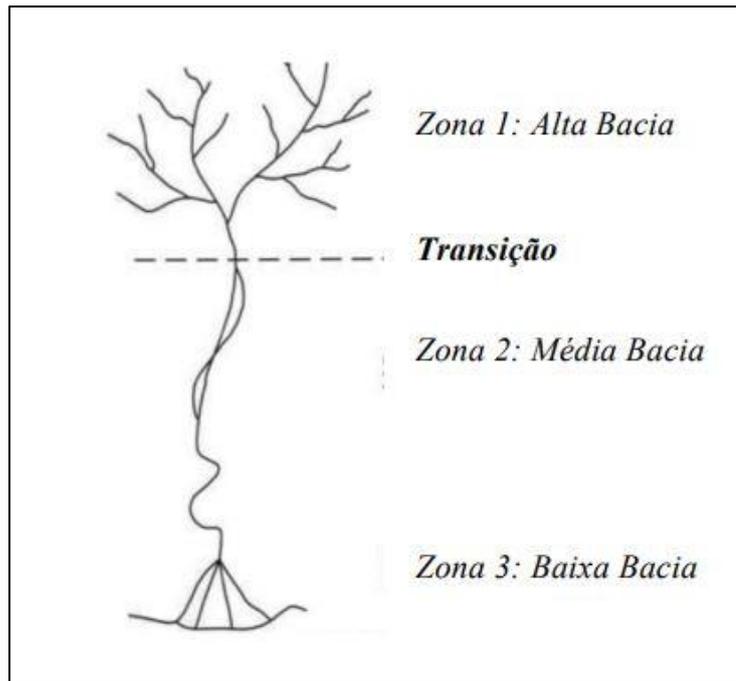


Figura 2. Principais zonas de produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica.
(Fonte: Adaptada de: CARVALHO, 2008).

Conforme Carvalho (2008), na zona 1 da Figura 2 ficam localizadas as cabeceiras dos rios e é onde se encontram os sedimentos com tamanhos maiores, como pedras e cascalhos. Essa região, também denominada Alta bacia, é responsável pela maior fonte de geração de sedimentos, sofrendo maior erosão e degradação. Na zona de transição, ocorre o maior transporte de sedimentos pois este recebe carga sólida dos diversos afluentes da bacia. Na zona 2, também denominada Zona Média, há diminuição da erosão, uma vez que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas e, assim, ao longo do percurso os sedimentos são fracionados e suas granulometrias se reduzem. Com o desenvolvimento do curso d'água para jusante, há uma maior produção de material fino. Na zona 3, conhecida como Zona Baixa da bacia, encontra-se a região de menor erosão, já apresentando uma forte deposição de sedimentos e sua distribuição nos terrenos.

É importante destacar que o modelo conceitual apresentado por Carvalho (2008) se trata de uma generalização do comportamento da erosão em bacias hidrográficas. Sendo assim, é possível encontrar regiões na zona Alta da Bacia onde há a redução de velocidade do escoamento, o que ocasiona uma maior deposição. A sequência dos processos hidrossedimentológicos é ilustrada pela Figura 3.

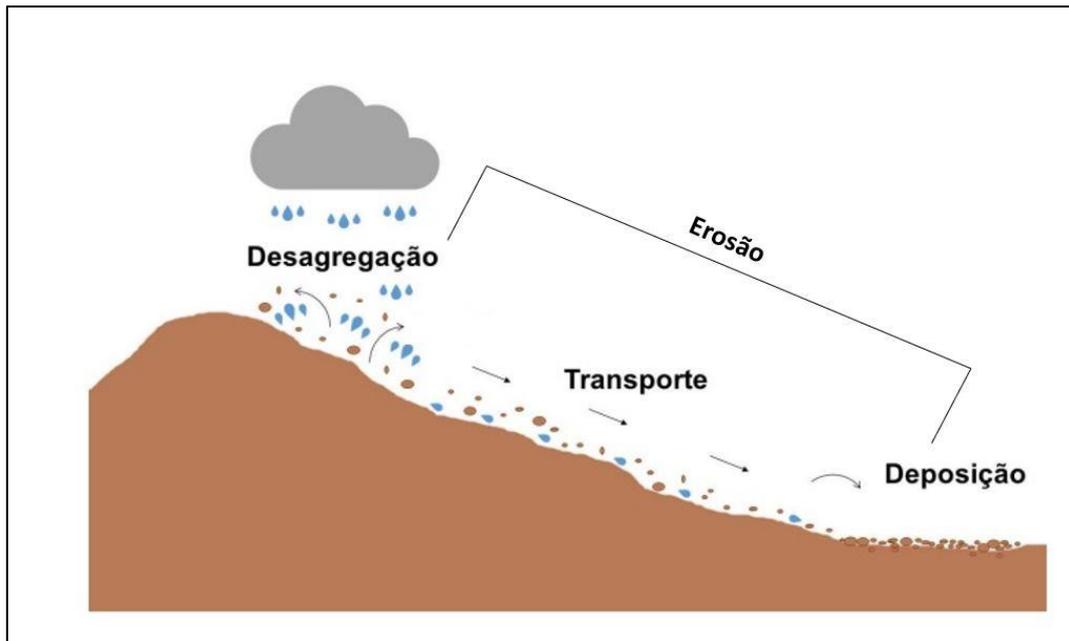


Figura 3. Ciclo hidrossedimentológico. (Fonte: adaptado de GUIRRO, 2018)

3.3. CONCEITUALIZAÇÃO DA CONECTIVIDADE DE SEDIMENTOS

Conforme Wohl et al. (2018), a conectividade de sedimentos é um conceito que vem sendo muito utilizado na análise da dinâmica dos sedimentos. Segundo os autores, ela descreve a eficiência da transferência do material entre componentes da paisagem, como encostas e rios e/ou segmentos longitudinais, dentro de uma rede fluvial.

Dentro da história do conceito, a conectividade aparece definida pela primeira vez em 1984, por Merriam, que estudou as interações entre as espécies e a estrutura da paisagem, com foco no fluxo entre os habitats. Considerando o papel fundamental que o fluxo de água tem no ambiente natural, Pringle, em 2001, tratou pela primeira vez do conceito de conectividade hidrológica como a transferência de matéria, energia e organismos dentro/entre elementos do ciclo hidrológico.

A conectividade de sedimentos trata do grau de ligação entre os diferentes compartimentos da paisagem que controlam a transferência de sedimentos (CAVALLI et al., 2013). Essa transferência física de sedimentos, é realizada através de uma fonte para a bacia de drenagem por meio da desagregação e transporte de sedimentos. A transferência é realizada da fonte para a bacia através de vetores como a água, vento, geleiras, gravidade ou animais. Quando

esse movimento de sedimentos ocorre exclusivamente pela água, pode-se então chamar de conectividade hidrossedimentológica (ZANANDREA et al., 2017).

De acordo com Zanandrea (2020), existe dificuldade na conceitualização da conectividade, devido a sua subjetividade no mundo. Muitos pesquisadores definem a conectividade dos sedimentos a partir do vetor de transferência (paisagem, água, fauna, vento, entre outros), outros definem pelo material transferido, ou ainda, pela interação do vetor e do material transferido, como na conectividade hidrossedimentológica.

Deste modo, pode-se classificar os tipos de conectividade dos sedimentos de acordo com os fatores que regem sua transferência, pois o sedimento pode se movimentar ao longo da paisagem de diferentes maneiras (ZANANDREA, 2020). Com o intuito de esclarecer as diferenças entre os termos encontrados na pesquisa sobre conectividade de sedimentos, a Tabela 1 apresenta os tipos de conectividade de acordo com seus fatores e processos de transferência de sedimentos.

Tabela 1. Tipos, fatores e processos/características das diferentes formas de conectividade dos sedimentos (Fonte: ZANANDREA, 2020).

	Tipos	Fatores	Processos/Características
Conectividade de sedimentos	Geomorfológica	Paisagem	Relevo, nível de base, litologia, pedologia, densidade de drenagem, entre outros.
	Hidrológica/ Hidrossedimentológica	Água	Chuva, escoamento superficial/subsuperficial/subterrâneo, movimento de massa úmido, entre outros.
	Biológica	Fauna	Migração de espécies, atividades escavadoras, barreiras de origem animal, entre outras.
	Eólica	Vento	Arraste, saltação, suspensão, entre outras.
	Antrópica	Atividade Humana	Estradas, construção de barreiras, uso do solo, modificações em encostas e canais, entre outras.
	Glacial	Gelo	Degelo, congelamento, entre outras.
	Tectônica	Movimentação de placas tectônicas	Vulcanismo, tsunamis, terremotos, movimentos de massa seco, entre outras.

3.4. CONECTIVIDADE DE SEDIMENTOS E CONECTIVIDADE HIDROSSEDIMENTOLÓGICA

Na investigação dos processos que atuam na superfície da Terra, a conectividade pode referir-se ao papel do sedimento como um dos principais agentes da evolução da paisagem. Considerando a classificação proposta por Bracken e Croke (2007), é feita uma distinção clara entre conectividade paisagística, hidrológica e de sedimentos, sendo que esta última aborda especificamente a transferência de sedimentos em sistemas geomórficos.

Sabe-se que, tratando de aspectos ambientais, os processos de transferência de sedimentos em uma bacia podem envolver diversos processos e fenômenos (Tabela 1), evidenciando que a transferência de sedimentos é função dos processos que atuam na bacia hidrográfica. Quando o vetor dessa transferência de sedimentos for a água, pode-se chamar de conectividade hidrossedimentológica (ZANANDREA et al., 2017).

Assim, vale destacar que a conectividade de sedimentos, a conectividade hidrológica e a conectividade hidrossedimentológica possuem diversas interfaces em comum, porém, possuem diferenças. Neste contexto, Pringle (2003) define a conectividade hidrológica como a mediação feita pela água na transferência de matéria, energia e/ou organismos dentro ou entre os elementos do ciclo hidrológico. Desse modo, Zanandrea et al. (2017) definem a conectividade hidrossedimentológica como a transferência integrada de sedimentos por toda a bacia, de qualquer fonte possível para determinado ponto de controle em um sistema onde o vetor de transporte é única e exclusivamente a água, com ligações ao longo da cascata de sedimentos. Deste modo, a conectividade hidrossedimentológica é regida pela contínua desagregação, erosão, transporte e deposição dos sedimentos. Nesse sentido, a descontinuidade hidrossedimentológica é definida como a descontinuidade na cadeia de sedimentos, onde barreiras ou mudanças estruturais na paisagem impedem a transferência de sedimentos entre os compartimentos. Ainda, a descontinuidade pode ser causada pela ausência do vetor de transporte (água), ou da capacidade de transporte do escoamento (ZANANDREA et al., 2017; ZANANDREA et al., 2020).

Para ampliar o entendimento sobre os processos que regem a dinâmica de sedimentos na bacia hidrográfica, a conectividade de sedimentos é analisada tanto pela sua distribuição espacial, quanto pelas suas componentes.

Conforme Brierley, Fryis e Jain (2006), a conectividade é classificada como: longitudinal, lateral e vertical. A Figura 4 apresenta as diferentes características da conectividade de sedimentos.

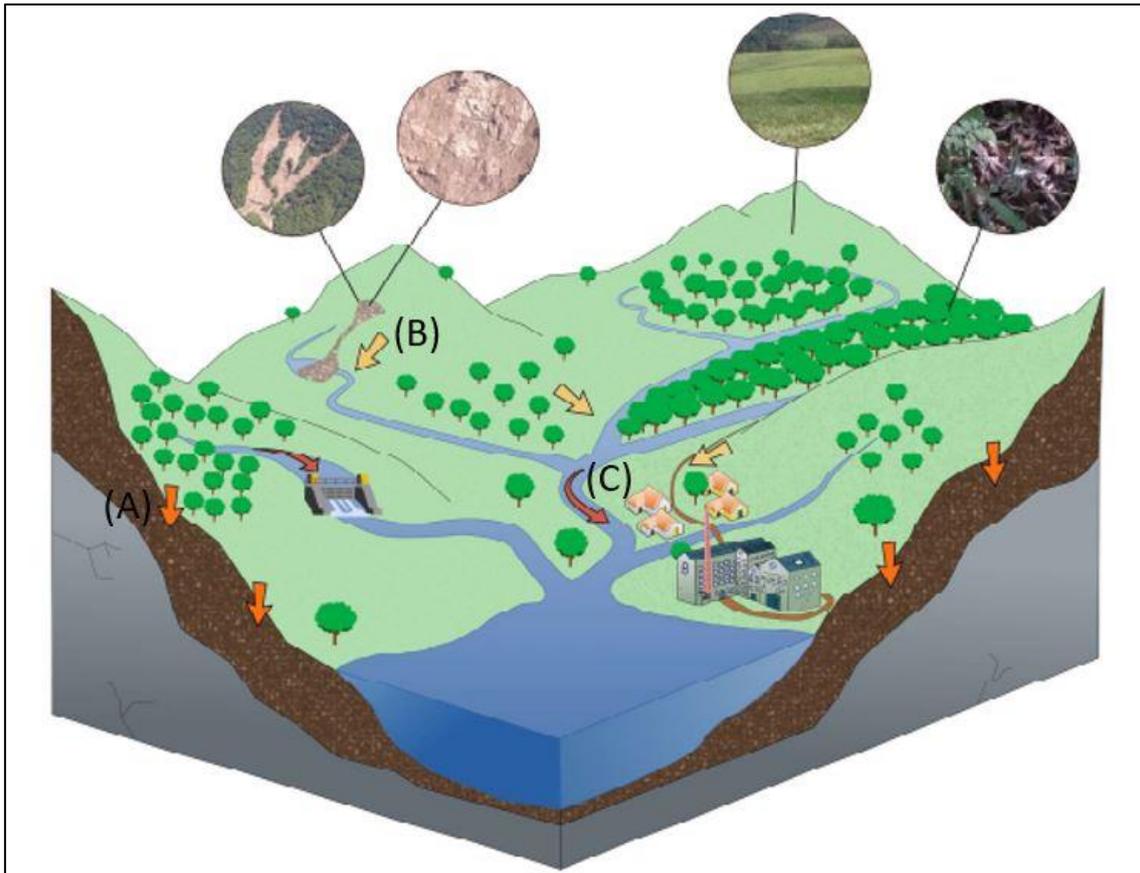


Figura 4. Dimensões, componentes e características da conectividade de sedimentos. (A) conectividade Vertical, (B) conectividade lateral e (C) conectividade longitudinal. (Fonte: adaptado de ZANANDREA et al., 2020).

Conectividade longitudinal é a rede de canais e suas relações de fluxo, dos trechos mais altos para os mais baixos, ou seja, é o caminho percorrido do sedimento até o exutório, o que reflete na capacidade de transferência de sedimentos dos canais. Conectividade lateral é definida pela relação entre a rede de drenagem e a paisagem (encosta-canal, planície de inundação-canal) que é controlado pelas características dos eventos climáticos. Por fim, a conectividade vertical está relacionada com as trocas que ocorrem entre a superfície e a subsuperfície. Em relação as componentes da conectividade, Wainwright et al.,

(2011), dividem em duas componentes: conectividade estrutural e conectividade funcional. A Tabela 2 apresenta características e fatores que influenciam a conectividade e suas componentes.

Tabela 2. Componentes da conectividade hidrossedimentológica, fatores de influência e características dos processos.

Conectividade Hidrossedimentológica	Componente	Fatores	Características
	Estrutural (Ce)	Declividade	Alta declividade colabora para a geração de escoamento (altos gradientes aumentam as tensões cisalhantes). Relevos suaves contribuem para a atenuação da energia e consequentemente, favorecem a deposição dos sedimentos (HECKMANN et al, 2018).
		Curvatura do terreno	Determinam a convergência ou divergência dos escoamentos (ZANANDREA et al, 2020).
		Rugosidade da superfície	Influência nas características hidráulicas, alterando velocidades e regimes de escoamento.
		Anisotropia topográfica	Indica falta de uniformidade no terreno e distribuição de barreiras, que podem gerar desconectividade na paisagem (ZANANDREA et al, 2020).
		Comprimento do percurso	Canais de drenagem mais densas aumentam a acessibilidade dos sedimentos ao exutório. Quanto maior for o comprimento do percurso, maior são as chances de o sedimento encontrar uma barreira ou outro obstáculo (FRESSARD E COSSART, 2018)
		Área efetiva de contribuição	Maiores áreas de contribuição tendem a saturar mais rapidamente e a gerar escoamento superficial mais facilmente (ZANANDREA et al, 2020)
	Funcional (Cf)	Precipitação	Responsável pela geração de escoamento superficial, que por sua vez é o maior responsável pela interação de sedimentos e água. É importante avaliar sua intensidade, duração e frequência (HECKMANN et al, 2018).
		Impermeabilização do solo	Potencializa o escoamento superficial
Índice de precipitação antecedente		Auxilia na avaliação da condição inicial de saturação do solo (ZANANDREA et al, 2020)	

Para Braken et al. (2013), a conectividade estrutural (C_e) representa o potencial de transferência, que é dependente do caminho (continuidade), do comprimento da encosta e da impedância (resistência) ao fluxo. Estando assim, relacionadas às propriedades de elementos que constituem os canais e superfícies pelas quais a água e os sedimentos percorrerão até um ponto de deposição (HECKMANN et al, 2018). Zanandrea et al. (2020) comentam que alguns dos componentes da conectividade estrutural são: declividade, rede de canais de drenagem, comprimento do percurso, área efetiva de contribuição e rugosidade do terreno.

Para Wainwright et al. (2011), a conectividade funcional abrange as variáveis que ligam os elementos da paisagem por meio de um processo. Sendo assim, conectividade funcional (C_f) é composta por variáveis que condicionam a geração do escoamento superficial, que é o principal vetor que liga os sedimentos entre os pontos da paisagem (ZANANDREA, 2020). Zanandrea et al. (2020) comentam que alguns dos componentes da conectividade funcional são: precipitação, índice de precipitação antecedente, condutividade hidráulica, permeabilidade, infiltração, erodibilidade, entre outros.

Vale ressaltar que na Tabela 2 o fator impermeabilização do solo é classificado como parte funcional da conectividade. Entretanto, a classificação desse fator como parte da conectividade estrutural também é válida pois também representa o caminho a ser percorrido pelo sedimento.

Assim, a conectividade estrutural pode ser modificada pelos processos que governam a conectividade funcional, sendo assim, o grau de alteração dependerá da magnitude do evento. Por exemplo, quanto maior a lâmina de água gerada pelo escoamento superficial menor o efeito da rugosidade, o que diminui a resistência relacionado à conectividade estrutural (ZANANDREA, 2020).

Conforme Liu e Fu (2016), a conectividade estrutural descreve o acoplamento físico entre unidades de paisagem e a conectividade funcional descreve a ligação entre os elementos de paisagem mantidos pelo transporte do material. A interação entre essas dimensões é o que fornece a conectividade real dos sedimentos (ZANANDREA, 2020), o que evidencia a importância da

análise da interação do vetor e do material transferido, como na conectividade hidrossedimentológica.

Martini, Cavalli e Picco (2022), descreveram as fontes de sedimentos como: conectadas (quanto a fonte de sedimentos tem interface/contato em comum com o rio), desconectadas (quando não há evidências de contato entre a fonte de sedimentos com o rio) e funcionalmente conectadas. Áreas funcionalmente conectadas mostram, em evidência de campo, uma região que ao invés de ter uma interface permanente, tem sua interação “fonte de sedimentos – rio” provinda de um evento de precipitação. Essas fontes não apresentam interface com o canal, sua ligação foi realizada pela ocorrência de um evento de precipitação que realizou a conexão de uma fonte desconectada com o rio. Essa pesquisa serve de exemplo de como as componentes da conectividade de sedimentos estão intimamente ligadas e sua análise conjunta é fundamental para entender a dinâmica da conectividade hidrossedimentológica em uma bacia.

3.5. AVALIAÇÃO DA CONECTIVIDADE

Uma maneira de avaliar espacialmente a dinâmica de sedimentos se dá por meio de índices de conectividade, que controlam a chegada dos sedimentos em locais a jusante (ZANANDREA et al., 2020). Conforme Zanandrea (2020) comenta, um dos índices mais utilizados pela comunidade científica é proposto por Borselli, Cassi e Torri (2008), o índice de conectividade de sedimentos (IC).

Este índice foi estabelecido a partir de uma abordagem geomorfológica, na qual questões hidrológicas não são avaliadas. Assim, o IC avalia apenas a variação espacial da conectividade, sem levar em consideração aspectos temporais (ZANANDREA et al., 2021). Os Índices de Conectividade de Sedimentos são muito valiosos para analisar o potencial de uma paisagem em transferir sedimentos através de seus compartimentos principais; isto é, avaliar a conectividade estrutural dos sedimentos ao longo do tempo (LLENA et al., 2019). Por mais que os resultados do IC, para compreender a conectividade estrutural de sedimentos, seja satisfatório, para o real entendimento da dinâmica de sedimentos dentro da bacia, é necessário um índice que realize a análise integrada entre os aspectos geomorfológicos e hidrossedimentológicos,

adicionando além do aspecto espacial, uma abordagem temporal. Com esse intuito, Zanandrea et al. (2021) desenvolveram o índice de conectividade hidrossedimentológica (IHC).

3.6. ÍNDICE DE CONECTIVIDADE HIDROSSEDIMENTOLÓGICA (IHC)

O índice de conectividade hidrossedimentológica (IHC), proposto por Zanandrea et al. (2021), foi desenvolvida tendo como base o índice de conectividade (IC) elaborado por Borselli, Cassi e Torri (2008), já considerando as modificações realizadas por Cavalli et al. (2013). Seu objetivo principal é avaliar a variação espaço-temporal da conectividade da água e do sedimento na bacia, considerando a geração do escoamento e as características do evento de precipitação antecedente (ZANANDREA et al., 2021).

O IHC tem a intenção de representar a ligação entre as diferentes partes da bacia hidrográfica com base nos caminhos de fluxo. A ferramenta proporciona estimar a conectividade hidrossedimentológica através dos caminhos de fluxo, ou seja, o potencial de conexão dos sedimentos entre as encostas e o exutório da bacia (ZANANDREA et al., 2021).

O IC, que foi utilizado como base para o desenvolvimento do ICH, determina, em uma escala de pixels, o grau de conectividade para um determinado ponto, de acordo com áreas deposicionais, canais e o exutório da bacia. O IC considera as características da área de contribuição, denominada componente a montante (D_{up}), e as características do fluxo a ser percorrido pelo sedimento até o ponto de interesse, denominado componente a jusante (D_{dn}). Os resultados são expressos em um intervalo de $[-\infty, +\infty]$ sendo definido pela equação (6).

$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right) = \log_{10} \left(\frac{\bar{W}\bar{S}\sqrt{\bar{A}}}{\sum \frac{d_i}{W_i S_i}} \right) \quad (6)$$

onde W é o fator de impedância; S é a declividade (m/m); A é a área de contribuição (m²); e d é o comprimento do caminho de fluxo de cada pixel (m), sendo o IC adimensional.

O índice se destacou por ser um dos primeiros aplicados em ambiente SIG no tema, e foi alvo de estudo e de aprimoramento. Cavalli et al. (2013) foram os primeiros autores a aprimorar o índice de conectividade, ainda com uma análise estritamente geomorfológica. Nesse sentido, Zanandrea et al. (2021) desenvolveram alterações para adicionar uma análise temporal aos índices já desenvolvidos.

Dentre os fatores para a aplicação do IC, a impedância é o que oferece mais obstáculos, principalmente relacionados à sua dependência a características difíceis de avaliar (e.g. o efeito da vegetação) (ZANANDREA; MICHEL; KOBİYAMA, 2020). Com base no coeficiente de Manning, Zanandrea Michel e Kobiyama (2020) desenvolveram um novo fator de impedância que preserva a não dimensionalidade do índice, denominada *Relative Smoothness* (RS). O fator é representado pela (7), sendo mais aplicado para áreas com cobertura vegetal (e.g. florestas).

$$RS = \frac{n_{min}}{n} \quad (7)$$

onde n_{min} é o valor mínimo tabelado e n é o coeficiente de Manning do local.

A reformulação proposta pelo IHC introduz variáveis relacionadas a conectividade funcional, representando o papel da água na conectividade de sedimentos, o que traz um caráter de temporalidade à conectividade. O índice de conectividade hidrossedimentológica é representado pela equação (8).

$$IHC = \log_{10}\left(\frac{R\bar{S} * S * IPS * \sum Q_{runoff}}{\sum \frac{d_i}{RS_i S_i}}\right) \quad (8)$$

onde IPS é o índice de precipitação para sedimentos (adimensional); e Q_{runoff} é o escoamento superficial (m) acumulado da área de drenagem a montante do pixel calculado.

O escoamento superficial de cada evento é calculado em escala de pixel através do método SCS. O IPS foi estruturado para expressar a disponibilidade de sedimentos dadas as características dos eventos de precipitação antecedentes, assumindo que a intensidade de precipitação é diretamente proporcional à disponibilização dos sedimentos e o escoamento é inversamente

proporcional à disponibilidade de sedimentos. Assim, quanto maior a intensidade de um evento de precipitação antecedente, maior será a quantidade de sedimentos disponível, porém, quanto maior o escoamento total deste evento, menos é a quantidade de sedimentos disponível para transporte no próximo evento. A equação do *IPS* é demonstrada por (9).

$$IPS(n) = \frac{imax_{m-j}}{\sum_{i=1}^j \frac{V_{m-i}}{\Delta t_{m-i}}} \quad (9)$$

onde *j* é o número de eventos antecedentes utilizado no índice; *imax_{m-j}* é a intensidade máxima do evento antecedente *m-j* (mm.d⁻¹); *V_{m-i}* é a precipitação acumulada no evento antecedente *m-i* (mm); *Δt_{m-i}* é a duração do evento de precipitação *m-i* (d).

Ao aplicar o IHC para eventos específicos, gera-se valores e mapas que refletem processos dinâmicos da bacia hidrográfica, relacionada às componentes funcional e estrutural da conectividade. Assim, a geração de distribuição espacialmente distribuída permite avaliar os locais e eventos de precipitação nos quais uma determinada região poderia estar mais conectada ao exutório da bacia (ZANANDREA et al., 2021). o IHC pode indicar lugares importantes de maior e menor limiares de conectividade e precipitação para a ocorrência de (des.) conectividade de algumas áreas, o que pode ser útil para a gestão das bacias hidrográficas.

É encontrado em pesquisas (ABATTI, 2021; ZANANDREA et al., 2021) a aplicação do IHC para a região de interesse do presente trabalho. O intervalo de resultados obtidos é de [-17,00; +0,30].

3.7. INFLUÊNCIA DA ALTERAÇÃO DO USO DO SOLO

Muitos autores classificam o uso do solo como um dos principais fatores que influenciam a conectividade de sedimentos (COULTHARD E VAN DE WIEL, 2017; FOERSTER et al., 2014; HOOKE, SOUZA, MARCHAMALO, 2021; LIU et al., 2021; LIZAGA et al., 2018; LLENA et al., 2019). Desta forma, as mudanças no uso do solo das bacias têm um impacto significativo na conectividade da bacia e, portanto, na dinâmica dos sedimentos. Conforme Coulthard e Van de Wiel (2017), as mudanças no uso do solo podem afetar a geomorfologia local e a

dinâmica dos sedimentos, ao ponto de provocar mudanças nos processos geomorfológicos além da área que teve o uso do solo alterado, evidenciando uma conectividade entre os compartimentos de paisagem.

A intensificação agrícola afeta significativamente todo o comportamento hidrológico e padrões de conectividade de um sistema, assim, informações sobre a distribuição espacial do uso/cobertura do solo são essenciais para acompanhar a resposta do escoamento e dos sedimentos e interpretar a hidrossedimentologia da bacia (LIZAGA et al., 2018).

O uso do solo e, conseqüentemente, a cobertura vegetal são fatores que exemplificam a indispensabilidade da análise conjunta dos componentes da conectividade hidrossedimentológica. O tipo de solo determina propriedades que relacionam fatores das duas componentes da conectividade (funcional e estrutural) e, por sua vez, condicionam o comportamento de variáveis como a capacidade de armazenamento de água, erodibilidade e condutividade hidráulica (HECKMANN et al., 2018).

O aumento da cobertura vegetal em encostas pode causar desconexão entre uma fonte de sedimentos e o exutório da bacia (PERSICHILLO et al., 2018). Esse fator, se torna ainda mais importante em regiões como no Brasil, onde existe a presença de florestas tropicais e subtropicais, onde a superfície do terreno é coberta por uma alta camada de serrapilheira, portanto, é um fator que deve ser avaliado (ZANANDREA, 2020). Assim, compreender a evolução da conectividade de sedimentos associada a diferentes usos da terra e mudanças topográficas é um pré-requisito para uma melhor compreensão dos balanços e dos processos de transporte de sedimentos (LENA et al., 2019).

Dentro do IHC, a mudança de uso do solo se manifesta através dos fatores de impedância e do valor de CN atribuído às classes de uso do solo da região a ser analisada. O valor de Manning atribuído a cada classe de uso do solo entra na equação (7), servindo como base para o cálculo do fator *Relative Smoothness (RS)*. O valor de CN (também atrelado às diferentes classes de uso do solo) é utilizado para a obtenção do escoamento superficial. Assim, através desses dois fatores, as mudanças de uso do solo são representadas pelo Índice de Conectividade Hidrossedimentológica (IHC).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a influência do uso do solo na conectividade hidrossedimentológica foi realizado a aplicação do índice de conectividade hidrossedimentológica (IHC) dentro da área de interesse, para 4 cenários distintos: Atual, Passado, Hipotético A e Hipotético B. A Figura 5 apresenta o esquema que foi utilizado para avaliar a influência do uso do solo na conectividade hidrossedimentológica. No presente capítulo também é realizada a descrição da fonte e forma de obtenção de todos os dados de entrada necessário para execução do IHC.

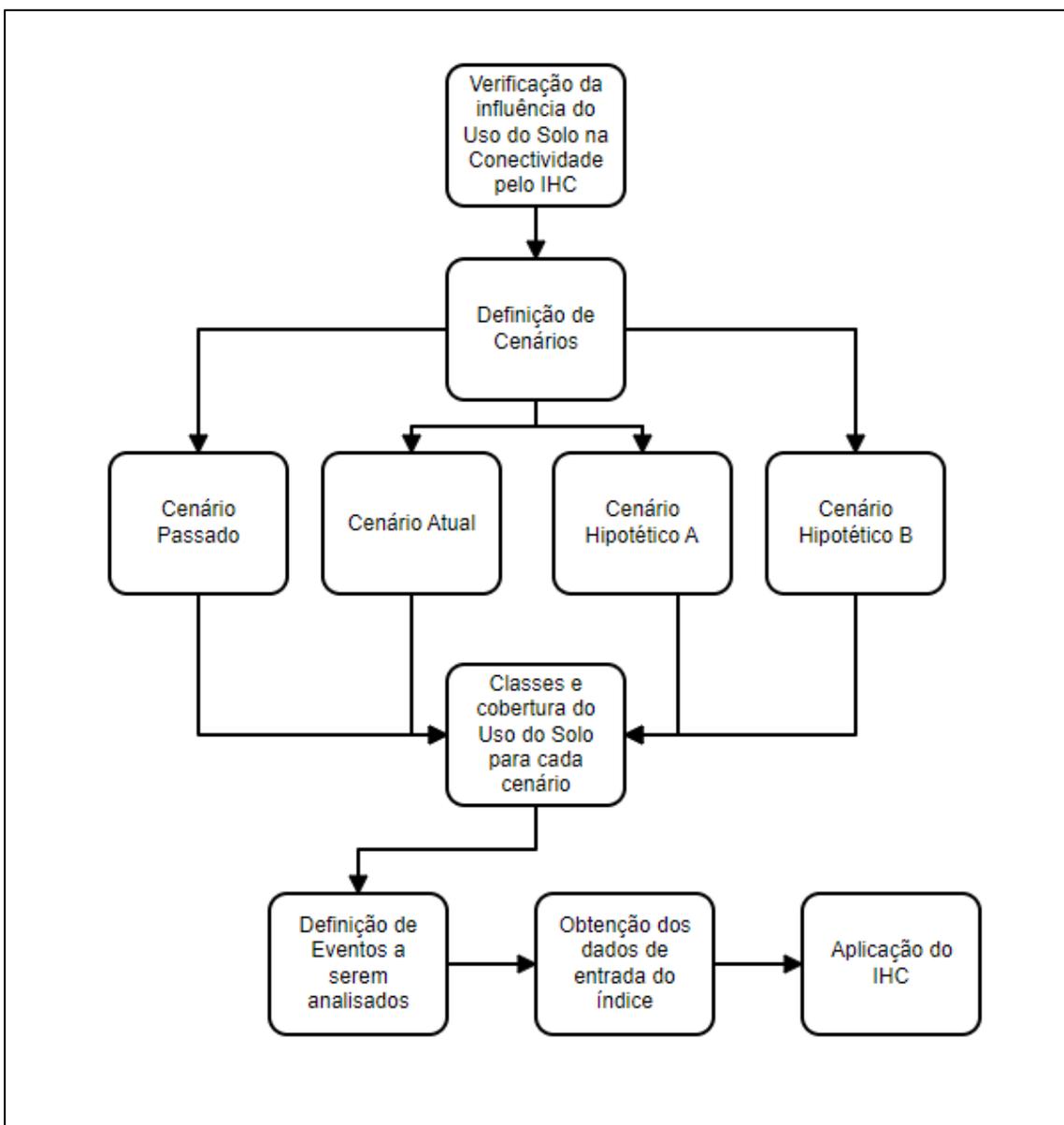


Figura 5. Etapas gerais do trabalho realizado.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do trabalho é a bacia hidrográfica do arroio Baio, situada nos Campos de Cima da Serra, no município de São Francisco de Paula, localizado no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 6). A bacia do arroio Baio possui cerca de 0,89 km² de área de drenagem e está inserida na bacia hidrográfica do rio Mascarada que, por sua vez, é afluente do rio dos Sinos (Figura 7).

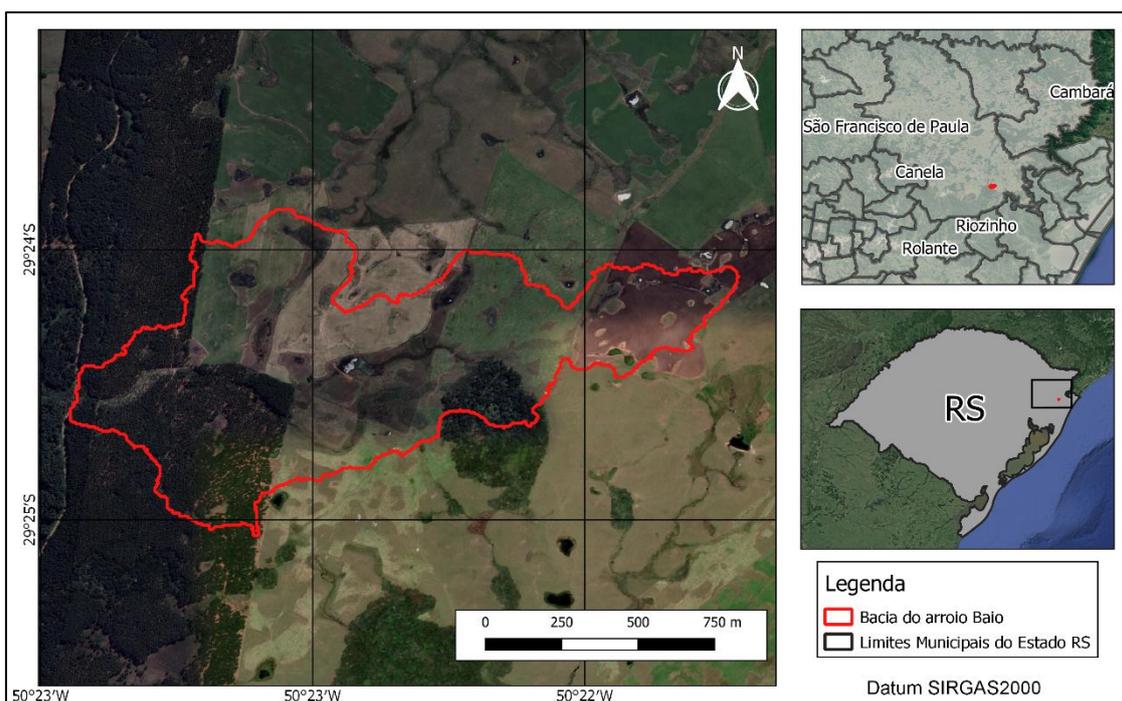


Figura 6. Localização da bacia hidrográfica do arroio Baio.

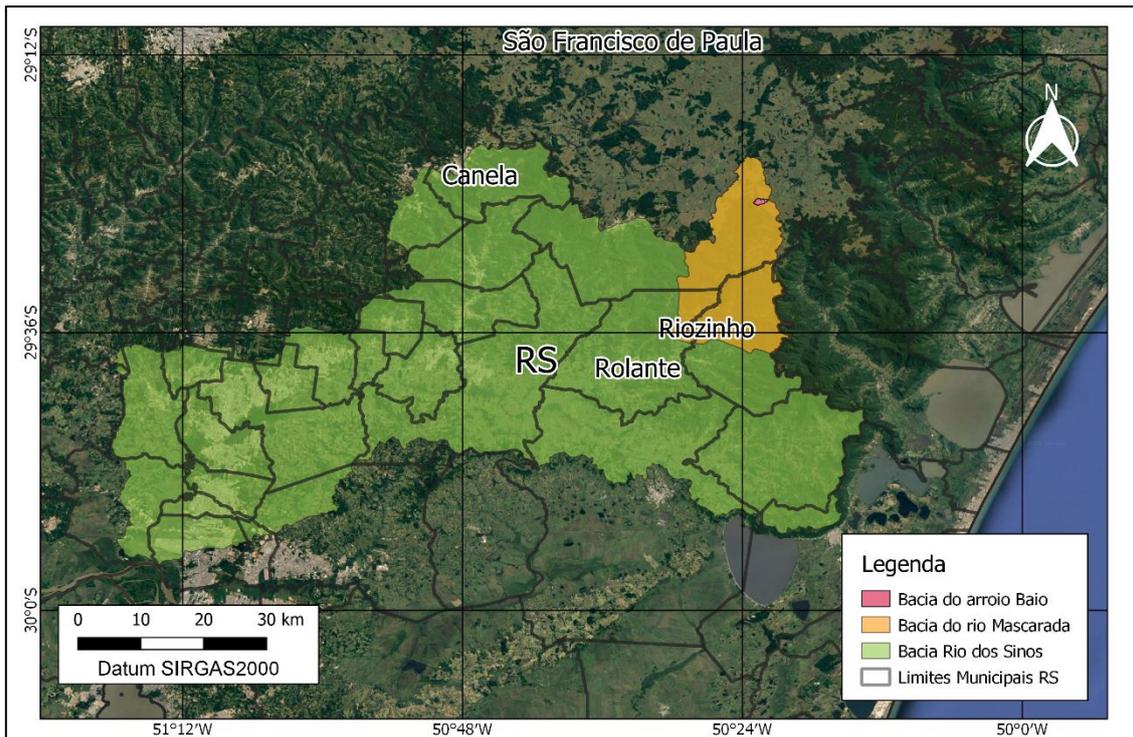


Figura 7. Localização das bacias de interesse.

A região de interesse, situada nos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Rio Grande do Sul, foi constituída por derrames vulcânicos da Formação Serra Geral. A região possui elevação superior a 948 metros, apresentando uma variação altimétrica de 41 metros (Figura 8) e declividades de 0° a 32° (Figura 9). A cobertura do solo é predominante de campos limpos, matas de araucárias em capões isolados e atividades agrícolas em pequenas propriedades (DANTAS, VIERO, SILVA, 2010). Em relação às atividades agrícolas, não só a região de interesse, mas como todo o município de São Francisco de Paula tem na agricultura uma importante base geradora de renda, em sua maioria baseados na agricultura convencional, mecanizada e com utilização de insumos químicos (CAROLINE; PAULINO; BINKOWSKI, 2018).

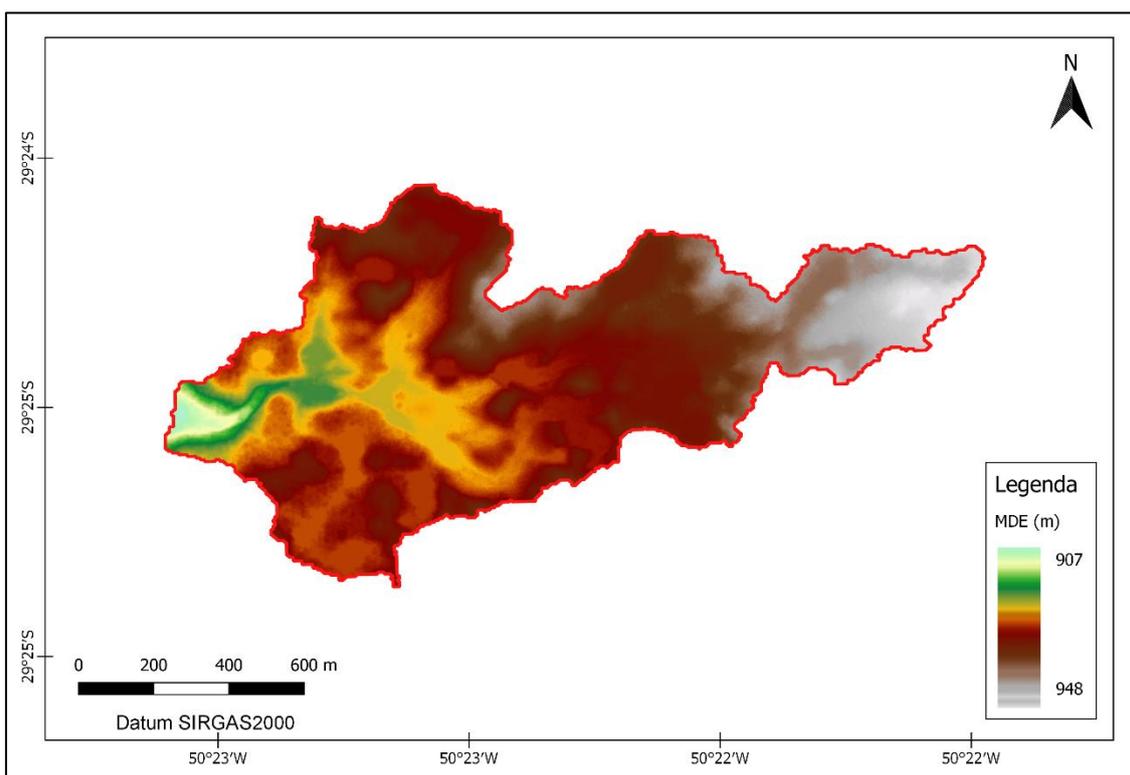


Figura 8. Relevo da bacia do arroio Baio.

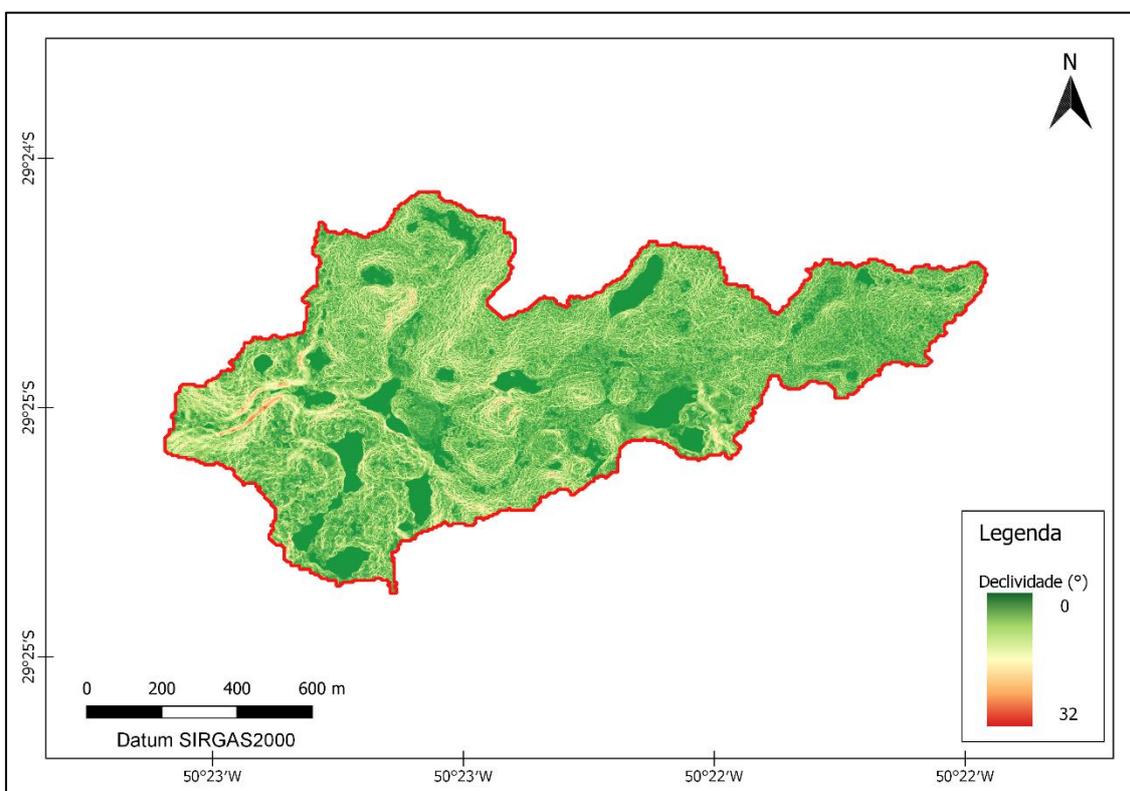


Figura 9. Declividade da bacia do arroio Baio.

A região de interesse foi marcada por um desmatamento generalizado das florestas de araucárias no século XX, o que motivou a fundação da Floresta

Nacional de São Francisco de Paula (FLONA-SFP). A FLONA constitui-se de uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, cujo objetivo básico é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de uma parcela dos seus recursos naturais, de acordo com a Lei 9.985/2000. A bacia possui uma região inserida dentro dos limites da FLONA, próxima ao exutório da bacia.

Os solos da região são caracterizados pela presença de matéria orgânica, alto teor de argila e baixa densidade aparente (DÜMIG et al, 2008), sendo classificado como Cambissolo húmico com profundidades de 1 a 2 metros. (GPDEN/SEMA, 2017). O uso do solo e cobertura vegetal da bacia do arroio Baio, atualmente, é caracterizado por um mosaico de mata nativa (5%), campos (*grassland*) (24%), atividades agrícolas (29%) (e.g. soja, batata, milho) áreas de silvicultura de Araucária e grande quantidade de espécies exóticas como o *Pinnus* sp e *Eucalyptus* sp (25%) (ABATTI, ZANANDREA, MICHEL, 2021). Os autores classificaram o uso do solo através de supervisão em campo e levantamentos com um veículo aéreo não tripulado (VANT), a Figura 10 apresenta os usos que foram definidos na bacia do arroio Baio.

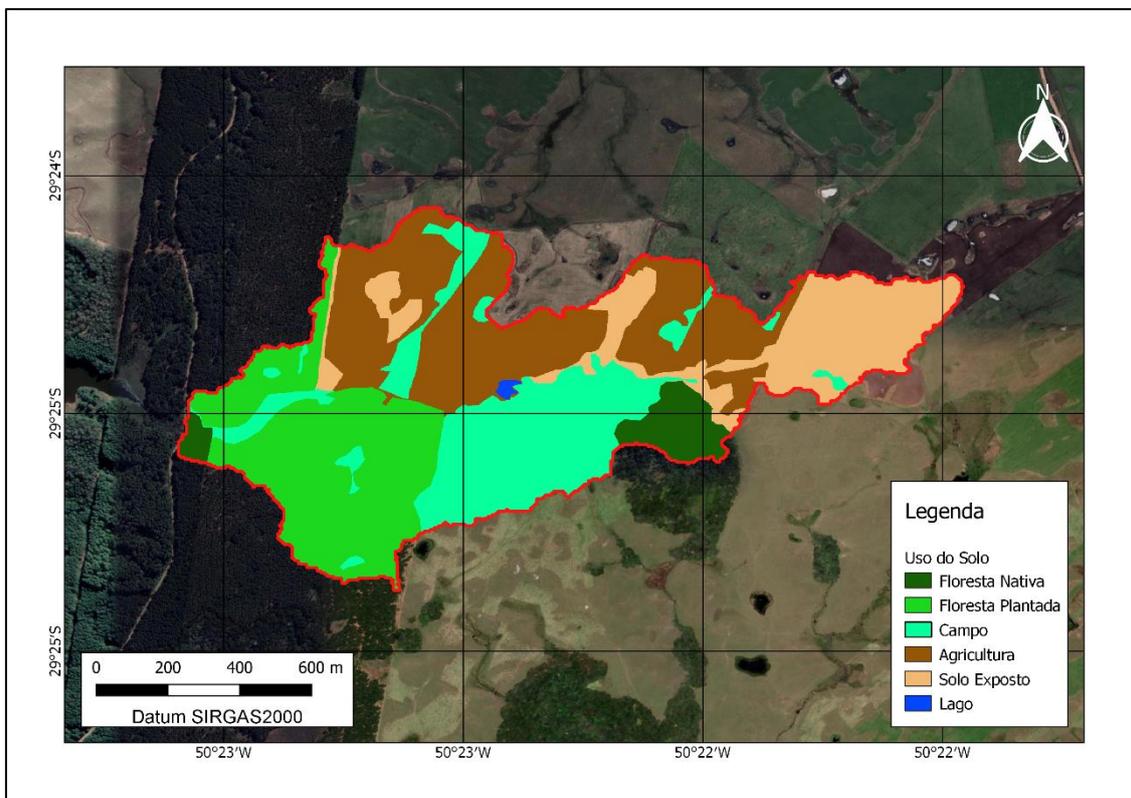


Figura 10. Uso atual do solo da bacia do arroio Baio.

Na Figura 10, é possível observar também uma classe de solo denominada “Solo Exposto”, que é encontrada em sua maioria na região leste da bacia do arroio Baio. A região provavelmente representa uma área de preparação agrícola, onde a área tende a ser constantemente modificada por culturas com baixa cobertura do solo (ABATTI, 2021).

Com o auxílio da Figura 11 até a Figura 13, é possível observar os usos do solo da bacia hidrográfica do arroio Baio. As imagens foram feitas através de um VANT e foram tiradas no dia 28 de janeiro de 2021.

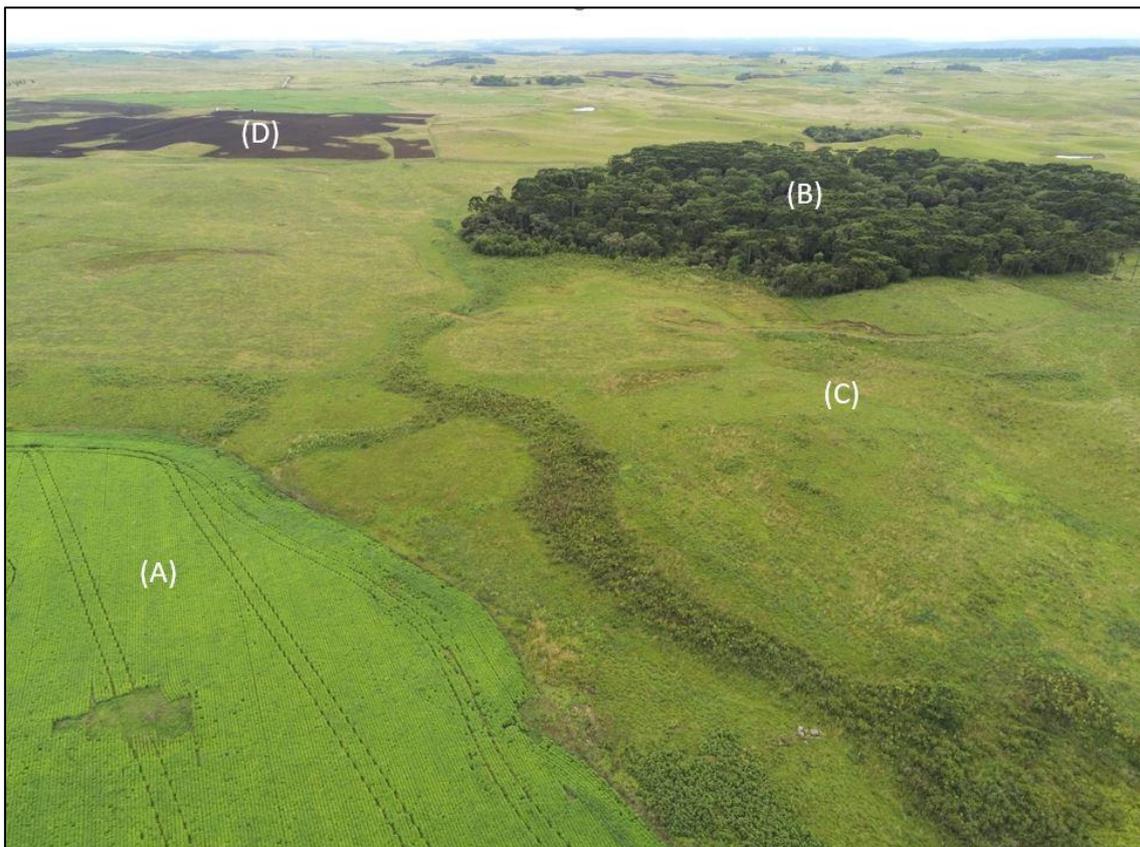


Figura 11. (A) Solo utilizado para atividades agrícolas. (B) Região de mata nativa. (C) Região de campo. (D) Solo em preparação para agricultura (exposto).



Figura 12. Solo em preparação para atividades agrícolas na bacia do arroio Baio.



Figura 13. Área de reflorestamento e atividades agrícolas na bacia do arroio Baio.

O local se enquadra no clima *Cfb*, segundo a classificação do sistema geral de Köppen Geiger, com ocorrência do clima super úmido a úmido, resultando em pluviometria com totais elevados (maior que 150 mm/mês, totalizando pluviosidade anual superior a 2000 mm) e distribuídos uniformemente ao longo de todos os meses do ano. A temperatura média anual é de 18,5 °C; a mínima absoluta chega a -3 °C no mês mais frio, enquanto a máxima absoluta atinge 27 °C no mês mais quente (DA SILVA et al., 2012). Levando em consideração o alto volume de chuva, as bacias de cabeceira possuem valores de chuva acumulada significativamente maiores que as partes mais baixas, favorecendo o acoplamento das encostas com os canais.

4.2. MONITORAMENTO DA REGIÃO

No presente trabalho o monitoramento da região é o que fornece os dados temporais para a utilização das demais ferramentas para caracterizar a conectividade hidrossedimentológica. Os dados obtidos do monitoramento servem para evidenciar a resposta da bacia para diferentes eventos de precipitação, considerando assim, aspectos funcionais da conectividade. As principais variáveis monitoradas foram a precipitação e a vazão (nível). Os dados utilizados foram obtidos através de uma seção de monitoramento na região. A seção foi instalada pelo Grupo de Pesquisa em Desastres Naturais (GPDEN-UFRGS) no final de maio de 2020. A seção foi instalada dentro da FLONA-SFP, e teve como objetivo obter uma série de dados contínuos, servindo como uma bacia experimental. A Tabela 3 apresenta as principais características dos equipamentos utilizados para o monitoramento do local.

Tabela 3. Características dos equipamentos utilizados para monitoramento da região.

Monitoramento	Modelo do Sensor	Intervalo de Monitoramento	Data de início de operação
Precipitação	SL2010 P - Solar Inst.	5 minutos	28/05/2020
Nível	SL2000 NV - Solar Inst.	5 minutos	28/05/2020

Para o monitoramento da descarga líquida foi utilizado uma calha Parshall de concreto que já se encontrava no lugar, onde foi feita a instalação do sensor descrito na Tabela 3. A relação nível medido com a vazão do canal foi desenvolvida por Abatti (2021), onde o autor desenvolveu a equação ao realizar

medidas pontuais de vazão em diferentes eventos e, a partir dessas campanhas, elaborou as relações de nível e vazão. O autor ainda ressalta que em eventos de maior magnitude, aproximadamente 38 cm, ocorre o transbordamento nas laterais da calha, nesse caso, a equação desenvolvida pela calha subestima significativamente a vazão. Entretanto, até o momento, apenas um evento registrado resultou no extravasamento da calha.

4.3. MDT

O Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizado no presente trabalho tem a função estimar o grau de conectividade estrutural da paisagem. É através do MDT que o IHC retira as informações de declividade, área de contribuição e caminho do fluxo. O MDT utilizado possui resolução espacial de 1x1m e foi elaborado pela empresa NTT DATA Corporation. A obtenção do modelo digital consiste na coleta de imagens de múltiplos satélites da *DigitalGlobe* e, a partir do processamento de conjuntos de imagem, se obtém o MDT com alta resolução. A Figura 8 apresenta o MDT utilizado no trabalho. Ainda, de acordo com o manual do IHC (ZANANDREA, F.; MICHEL, G.; KOBIYAMA, M, 2021), para a aplicação do índice é recomendado que o MDT de entrada tenha passado pela ferramenta de geoprocessamento "*Fill*", que serve para remover as depressões locais, pois é normal aos arquivos MDT em seu processo de criação, a existência de depressões que atuam como sumidouros, interferindo no processo de roteamento do fluxo. É recomendado pelos autores também que para a aplicação do IHC o arquivo MDT deve ser processado sobre uma extensão maior do que a bacia selecionada. Essa ação é necessária para evitar erros ou aproximações relacionadas a efeitos de borda (CAVALLI, CREMA e MARCHI, 2014). A Figura 14 mostra o MDT utilizado na região após a utilização da ferramenta de geoprocessamento "*buffer*".

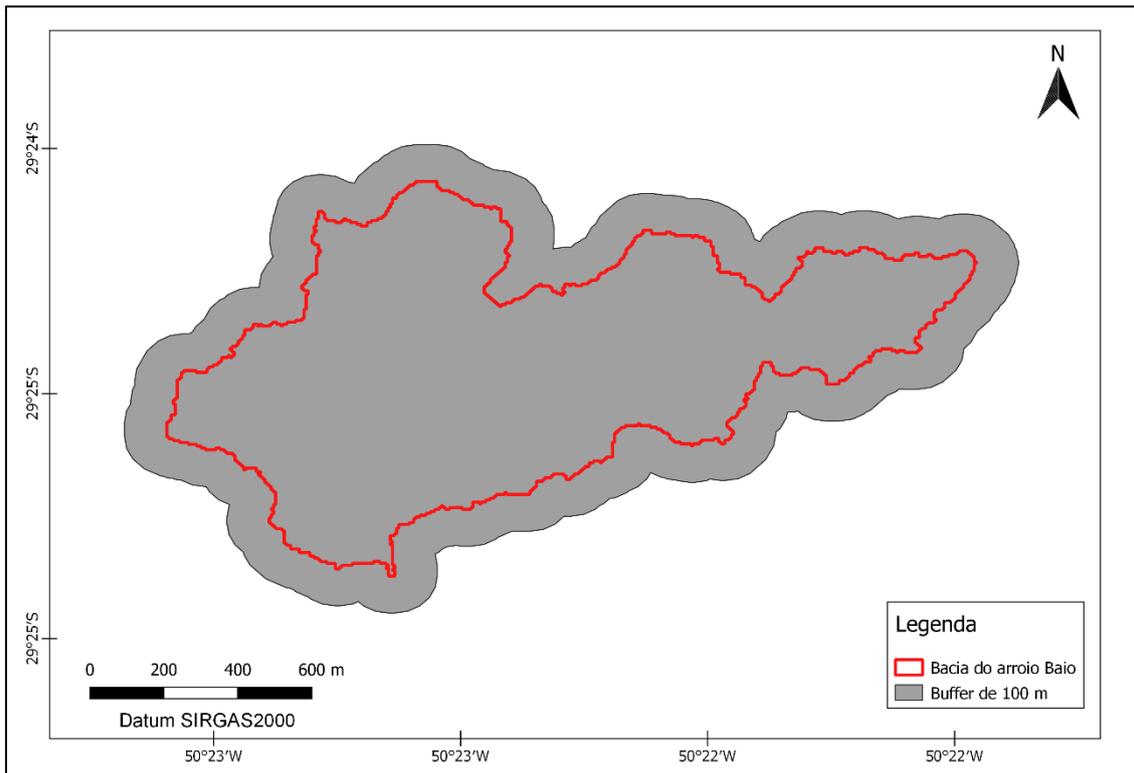


Figura 14. Buffer da bacia do arroio Baio utilizado para o processamento do MDT no IHC.

4.4. CENÁRIOS

Entre os diferentes cenários analisados, mantiveram-se as classes de uso do solo da região, variando em cada cenário a cobertura de cada tipo de uso, assim, obteve-se 4 diferentes cenários. O cenário Atual representa a situação do uso do solo da região que foi descrita por Abatti, Zanandrea e Michel, em 2021 (Figura 10).

Com auxílio de imagens de satélite disponíveis na plataforma *Google Earth* foi ajustada a área de cobertura de cada classe, de modo que representasse a situação do ano de 2002, configurando o cenário Passado. Este ano foi escolhido devido a grande diferença de uso do solo da região quando comparada com a situação atual. A Figura 15 apresenta a comparação entre os anos de 2002, 2021 e 2018 para a região de interesse.





Figura 15. (A) Bacia hidrográfica do arroio Baio no ano de 2002 (Fonte: *Google Earth*). (B) Bacia hidrográfica do arroio Baio no ano de 2021 (Fonte: *Google Earth*). (C) Bacia hidrográfica do arroio Baio no ano de 2018 (Fonte: *Google Earth*)

Ao observar a Figura 15, é possível notar o avanço agrícola da região. Em 2002 não se encontra nenhuma atividade agrícola na bacia do arroio Baio, em 2018 já é possível observar a presença da atividade, e ao observar a imagem do ano de 2021 é possível notar o avanço das atividades agrícolas a bacia. Desta forma para os cenários Hipotéticos, foi avaliado uma situação de avanço das atividades agrícolas, onde o solo exposto da região é preparado e aproveitado para o uso agrícola e há um recuo da área da floresta plantada que também foi aproveitada para o avanço da agricultura. Assim, é possível que os cenários Hipotéticos sejam uma tendência para o uso do solo da região. Ainda, para o cenário Hipotético, imaginou-se uma manutenção do campo em torno do canal principal da bacia.

Ao analisar a evolução histórica da bacia do arroio Baio, é possível observar que para ano de 2018, na região que na situação atual (2021) é considerada como solo exposto (preparação agrícola), se encontram atividades agrícolas. Fato que corrobora com o descrito por Abatti (2021) e descrito no item 4.1, que comentam que a região do leste da bacia do Baio representa uma área de preparação agrícola, onde o solo tende a ser constantemente modificado por culturas com baixa cobertura. Nesse contexto, o cenário Hipotético A representa uma situação de avanço agrícola onde são mantidas as atividades já exercidas

da bacia e as áreas de expansão da atividade são classificadas como preparo agrícola (solo exposto) para a futura expansão da plantação. Assim, o cenário Hipotético B apresenta a região da bacia do arroio Baio em um cenário em que toda a área destinada para a agricultura se encontra plantada, ou seja, não possui área de preparação (solo exposto).

4.5. IMPEDÂNCIA

O valor de impedância do IHC, denominado *Relative Smoothness* (RS) está atrelado as classes de uso do solo. Assim, com a classificação das classes de uso do solo da região (ABATTI, ZANANDREA, MICHEL, 2021), Abatti (2021) atribuiu o valor do coeficiente de Manning para cada classe de uso do solo obtidos na classificação supervisionada das imagens. Deste modo, considerado um Manning mínimo de 0,01 (CHOW, 1959), chega-se aos valores do coeficiente de Manning e fator RS, utilizando a equação (7), para cada classe de uso do solo da região, que são apresentados pela Tabela 4. Vale ressaltar que o valor de Manning atribuído aos lagos, deve-se à contribuição substancial que esses elementos possuem como depósitos de sedimentos (Abatti, 2021).

Tabela 4. Valores do Coeficiente de Manning e do fator RS para cada classe de uso do solo para a região da bacia do arroio Baio.

Classe de Cobertura do Solo	Manning (n)	Impedância (fator RS)
Floresta Nativa	0,4	0,025
Agricultura	0,2	0,05
Campo/pastagem	0,25	0,04
Floresta Plantada	0,4	0,025
Solo exposto	0,05	0,2
Lagos	0,4	0,025

4.6. OBTENÇÃO DA LÂMINA DE ESCOAMENTO PELO MÉTODO DA CURVA NÚMERO

Uma das principais adições ao índice de conectividade hidrossedimentológica foi a lâmina de escoamento, informação que traz a conectividade funcional ao índice. Esse dado de entrada é obtido pelo método da curva número (SCS), descrito pelas equações (1), (2), (3), (4) e (5). Para a aplicação do método é necessário a definição do tipo do solo e a conferência dos valores de CN de cada classe de uso do solo. Com o intuito de melhor

representar a região, Abatti (2021) definiu o grupo hidrológico a partir das características do solo da bacia, que foram confirmados por meio de testes de campo e amostras de solo. O autor definiu o solo da bacia como solo do tipo C. Após a definição dos valores tabelados de CN, especializados ao longo da bacia, o autor realizou uma verificação do balanço hídrico com base em um monitoramento hidrossedimentológico da região, de modo a garantir uma maior representatividade aos valores de CN da área de estudo. Assim, para o processo de definição dos valores de CN para região, o autor realizou comparações entre o volume total de escoamento determinado pelo monitoramento e pelo escoamento superficial obtido através do método SCS. Em seguida, realizou a variação manual dos valores de CN até encontrar um melhor ajuste. Posteriormente, foram consideradas questões de umidade antecedente apresentadas pelo método Condição de Umidade do Solo (AMC), que é descrito pela Tabela 5.

Tabela 5. Condições de umidade antecedente consideradas para definição do valor de CN de cada evento.

Condição de Umidade do Solo Antecedente (AMC)	Precipitação acumulada nos últimos 5 dias (mm)
<i>AMC I</i>	Menor que 15
<i>AMC II</i>	Entre 15 e 40
<i>AMC III</i>	Maior que 40

Desta forma, os valores de CN para cada classe e condição de umidade antecedente definidos por Abatti (2021) e utilizadas no presente trabalho são apresentados pela Tabela 6.

Tabela 6. Valor de CN de cada classe e condição de umidade do solo para a região do arroio Baio.

USO DO SOLO	AMC I	AMC II	AMC III
Mata Nativa	48	63	70
Agricultura	67	79	81
Campo	56	68	78
Floresta Plantada	51	65	72
Solo Exposto	77	85	86
Lago	100	100	100

Vale ressaltar que para todos os eventos simulados foi considerado 20% de perdas iniciais. Assim, com os valores de CN definidos, para cada evento de interesse elaborou-se uma matriz de escoamento. A matriz foi calculada através

da lâmina d'água em cada pixel (Q_{runoff}) gerado a partir do evento de análise, ou seja, gerou-se 5 Q_{runoff} diferentes para cada cenário analisado. Essa altura de escoamento é acumulada até o exutório da bacia conforme as linhas de direção de fluxo. Com o intuito de evitar problemas computacionais, foi considerado o valor mínimo para a altura do escoamento de 0,0001 metros.

4.7. OBTENÇÃO DO *IPS*

De forma geral, entende-se que quanto maior a intensidade de um evento de precipitação antecedente, maior é a quantidade de sedimentos disponíveis. Porém, ao mesmo tempo que, quanto maior for o volume total do evento anterior, menor é a quantidade de sedimentos que ficam disponível para um futuro transporte. O índice de precipitação para sedimentos (CENSI, 2019) foi acoplado ao cálculo do IHC com o objetivo de considerar a quantidade de sedimento disponibilizados pelo evento anterior para transporte, sendo ajustado pela intensidade total e volume escoado devido a eventos antecedentes. Foi realizado o cálculo para o *IPS* para todos os eventos analisados e procurou na seleção e separação dos eventos situações com *IPS* distintos, com o intuito de avaliar o peso do *IPS* para a conectividade hidrossedimentológica.

4.8. APLICAÇÃO DO IHC

Para a aplicação do Índice de Conectividade Hidrossedimentológica (IHC) é requerido a instalação do "*TauDEM tools*" uma vez que várias funções hidrológicas são computadas usando esta ferramenta (ZANANDREA; MICHEL; KOBAYAMA, 2021). Deste modo, foi utilizado o software *ArcGis PRO* para a aplicação do IHC, usando o exutório da bacia hidrográfica do arroio Baio como o ponto de referência para o cálculo da conectividade hidrossedimentológica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. MONITORAMENTO DA REGIÃO

Com o intuito de representar a componente funcional da conectividade da região, foi analisada a série de dados de precipitação e nível monitoradas a cada 5 minutos na bacia do arroio Baio. A série analisada é apresentada na Figura 16 e representa os valores de precipitação acumulada diária para o período de 28 de maio de 2020 até 13 de julho de 2021. Na série de dados obtida se observou a ocorrência de pico máximo de 11,2 mm em um intervalo de 5 minutos, já o maior volume acumulado diário registrado foi de 104 mm. Levando em consideração o clima subtropical da região, como esperado, as precipitações ocorreram de forma bem distribuídas ao longo período monitorado, com os maiores volumes de chuvas diárias no mês de julho de 2020 (305,2 mm), seguido por junho de 2020 (237,8 mm) e maio de 2021 (233,4 mm).

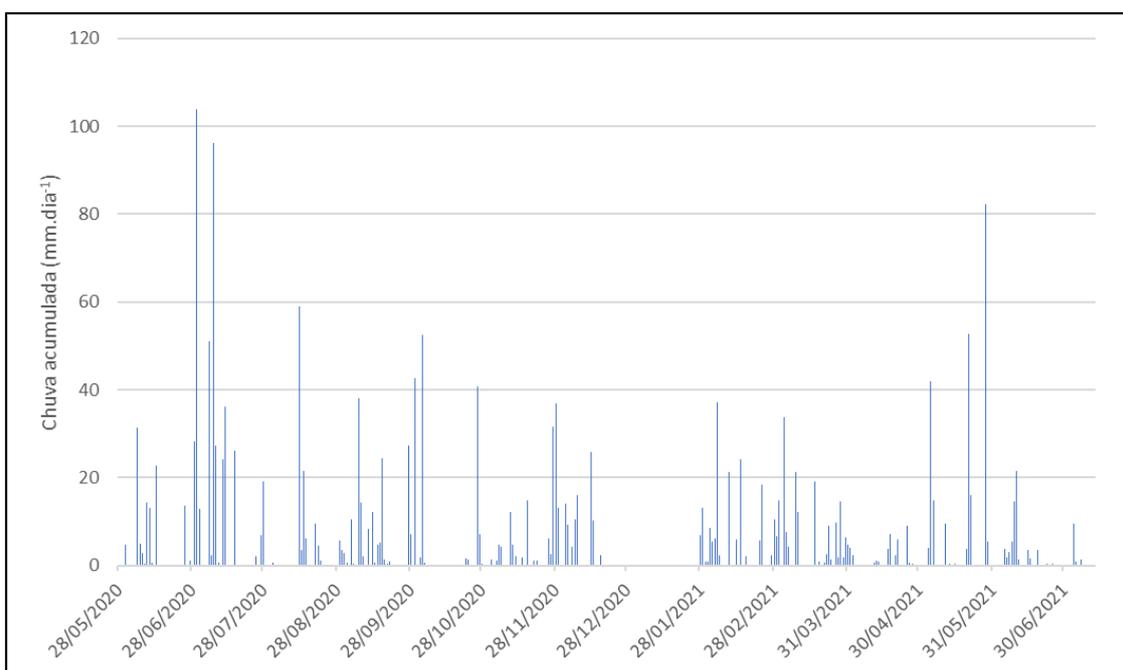


Figura 16. Precipitação acumulada diária monitorada para o período analisado.

Para a descarga líquida, estimada a partir da relação do nível da lâmina d'água e a calha Parshall, se obteve a série de vazão monitorada ao longo dos anos de 2020 e 2021, com intervalos de 5 minutos. A vazão máxima foi de 1243 L.s⁻¹ e a média de 19,43 L.s⁻¹. A Figura 17 apresenta a série de dados da vazão monitorada para a região de interesse.

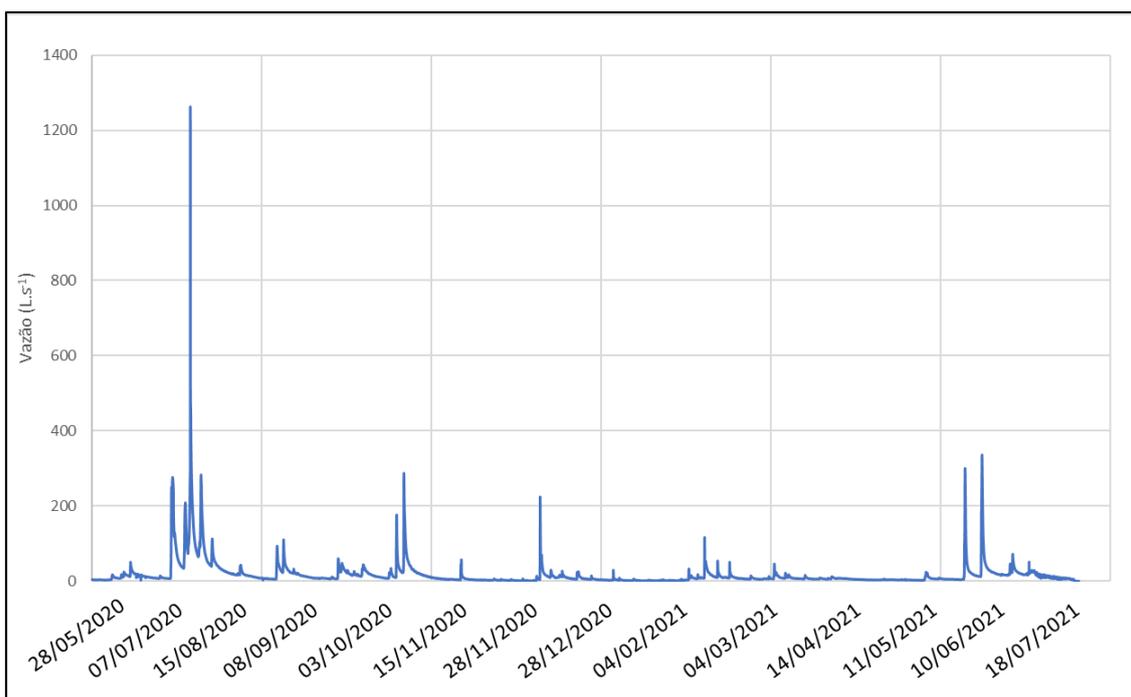


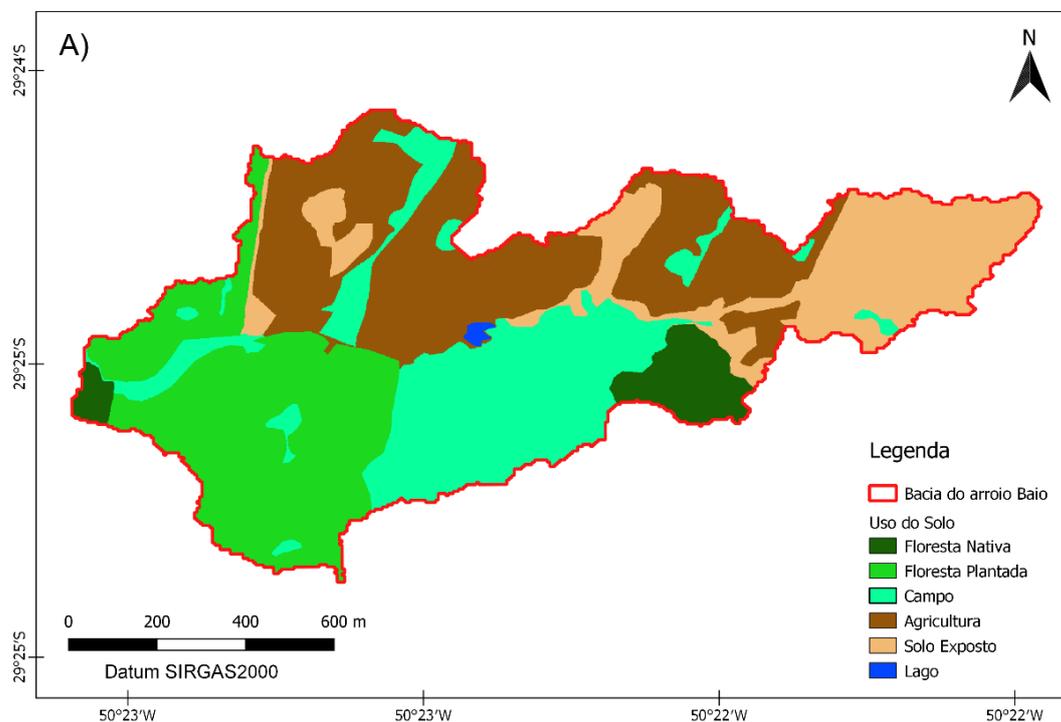
Figura 17. Série de dados da vazão monitorados para o período analisado.

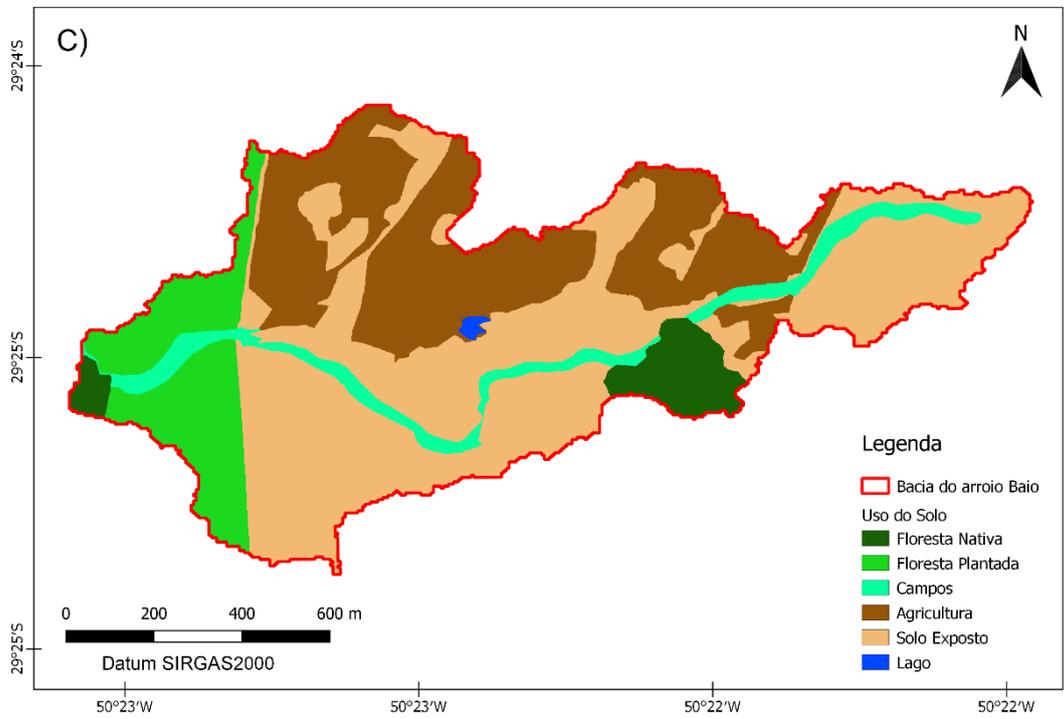
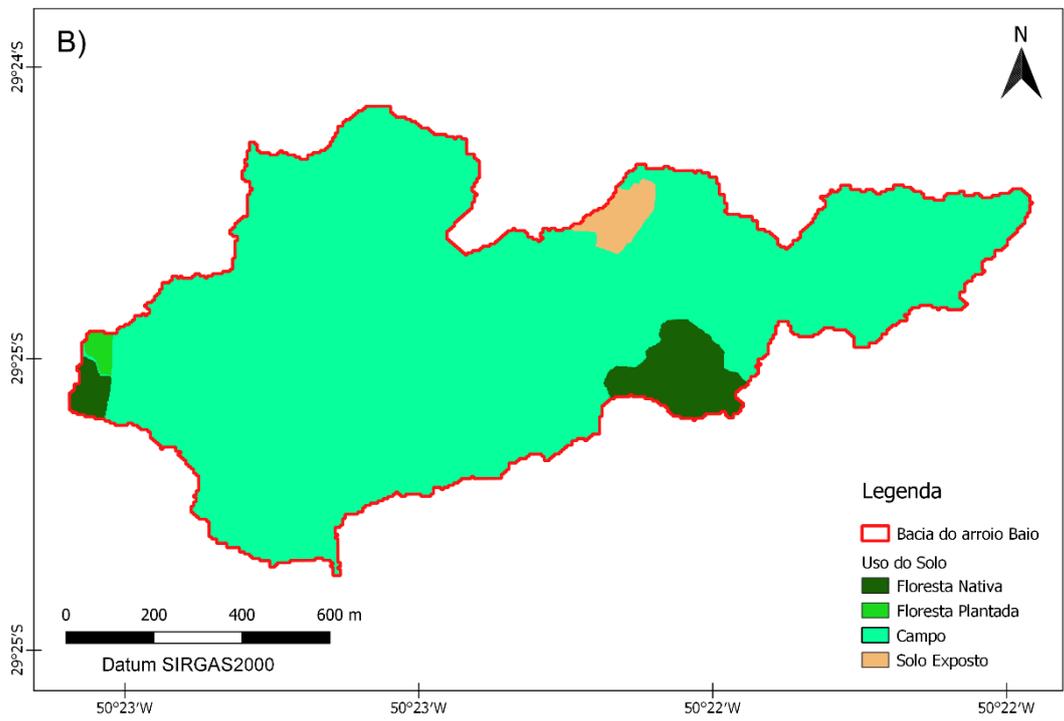
5.2. CENÁRIOS

Os cenários propostos estão representados pela Figura 18. Nota-se que representam 4 situações bem distintas para a bacia do arroio Baio. Os cenários Atual e Hipotético A possuem o maior número de classes de usos de solo, sendo que o Atual, é o cenário que possui a maior parcela de floresta (nativa + plantada = 29,60%). Para o cenário Passado, é predominante a região de campo (93,24%), não possui atividade agrícola e ainda representa uma parcela pequena de Floresta Plantada (0,45%), antes do desenvolvimento para a parcela do cenário Atual. O cenário Hipotético A tem como sua região predominante a classe de solo exposto (preparo agrícola = 47,90%). Já para o cenário Hipotético B, a região predominante é a de atividades agrícolas (76,79%) e não apresenta a classe de uso do solo exposto.

A proposição dos cenários Hipotéticos teve como base a análise feita por Krone e Menasche (2016), que discutem sobre o histórico das atividades agrícolas da região dos Campos de Cima da Serra. Primeiramente, as atividades de pecuária de corte e produção do Queijo Serrano eram as principais atividades econômicas do local. Com o passar do tempo, nos Campos de Cima da Serra, foi desenvolvido uma série de novas atividades econômicas. Os autores

destacam projetos de fruticultura, de reflorestamento e de plantações de milho e batata como importantes atividades locais que vem crescendo na região. Caroline, Paulino e Binkowski (2018) comentam que as atividades agrícolas configuram a maior fonte de sustento da população na região de São Francisco de Paula. Aliado com as constatações feitas pelos autores, para os cenários Hipotéticos, foi considerado uma situação que representasse o avanço das atividades agrícolas na bacia hidrográfica do arroio Baio, podendo ser considerado uma tendência para a região, como descrevem os autores acerca do município de São Francisco de Paula como um todo. Assim, o cenário Hipotético A representa uma transição entre o cenário Atual e o Hipotético B. De modo a considerar as atividades agrícolas já existentes no local e projetar uma área de expansão como área de preparo agrícola (solo exposto). Para o cenário Hipotético B, foi proposto uma situação de expansão agrícola onde todas as atividades agrícolas da região estão aptas, não apresentando áreas em preparação (solo exposto).





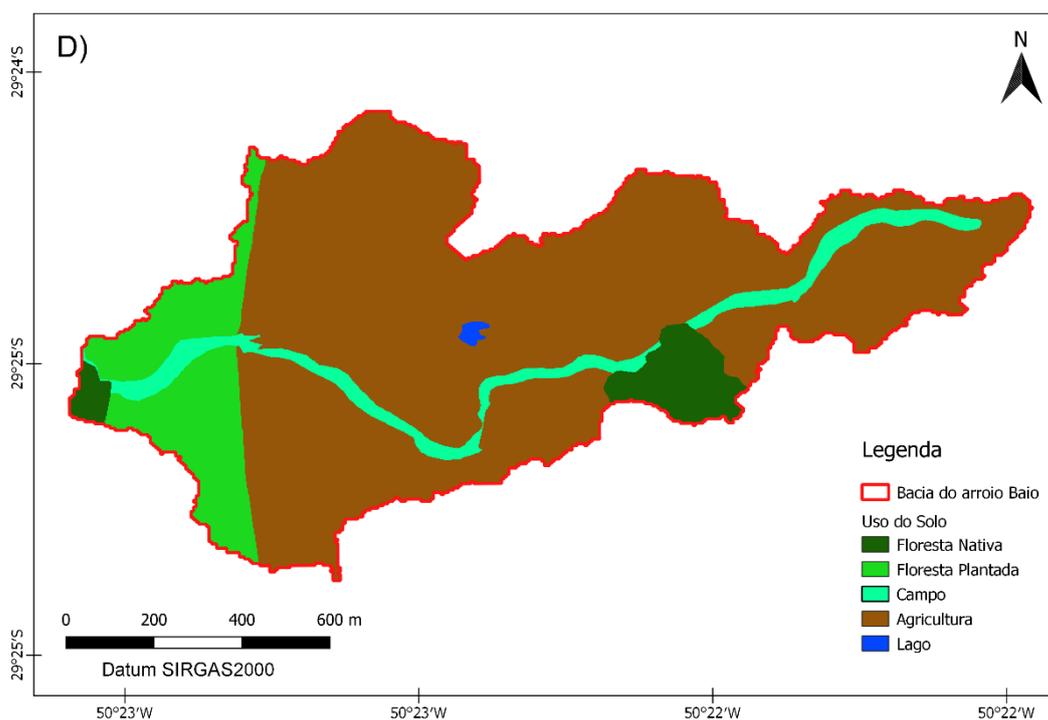


Figura 18. Uso do solo da bacia do arroio Baio considerado no cenário (A) Atual; (B) Passado; (C) Hipotético A; e (D) Hipotético B.

A Tabela 7, apresenta a composição de todos os cenários avaliados, de acordo com cada classe de uso do solo definido.

Tabela 7. Área de cobertura das classes de uso do solo dos cenários propostos.

Cenário	Uso do Solo	Área de cobertura (%)
Atual	Floresta Nativa	4,80
	Floresta Plantada	24,80
	Campo	22,85
	Agricultura	29,43
	Solo Exposto	17,90
	Lago	0,22
Passado	Floresta Nativa	4,80
	Floresta Plantada	0,44
	Campo	93,24
	Agricultura	0,00
	Solo Exposto	1,52
	Lago	0,00

Cenário	Uso do Solo	Área de cobertura (%)
Hipotético A	Floresta Nativa	4,80
	Floresta Plantada	11,80
	Campo	6,15
	Agricultura	29,13
	Solo Exposto	47,90
	Lago	0,22
Hipotético B	Floresta Nativa	4,80
	Floresta Plantada	12,04
	Campo	6,14
	Agricultura	76,79
	Solo Exposto	0,00
	Lago	0,22

5.3. EVENTOS ANALISADOS

Com base nos dados de precipitação e vazão (nível), foram selecionados 5 eventos para realizar a aplicação do IHC. Os eventos selecionados são aplicados a todos os cenários analisados. A separação foi realizada com o intuito de representar diferentes características de eventos monitorados na bacia do arroio Baio. Nesse sentido, foram selecionados 5 eventos de precipitação com base nas seguintes características: precipitação acumulada do evento, data de ocorrência, características de umidade antecedente e diferentes índices de precipitação antecedentes. O objetivo era, dentro dos eventos escolhidos, variar as características de modo a contemplar diferentes combinações dos fatores que ocorreram durante os eventos monitorados na bacia.

5.3.1. Índice de Conectividade Hidrossedimentológica aplicada aos eventos selecionados

Com o intuito de avaliar a influência do uso do solo na conectividade hidrossedimentológica, utilizou-se 5 eventos para os diferentes cenários analisados. Além da influência das classes de uso, buscou-se avaliar outras características importantes na conectividade hidrossedimentológica, assim,

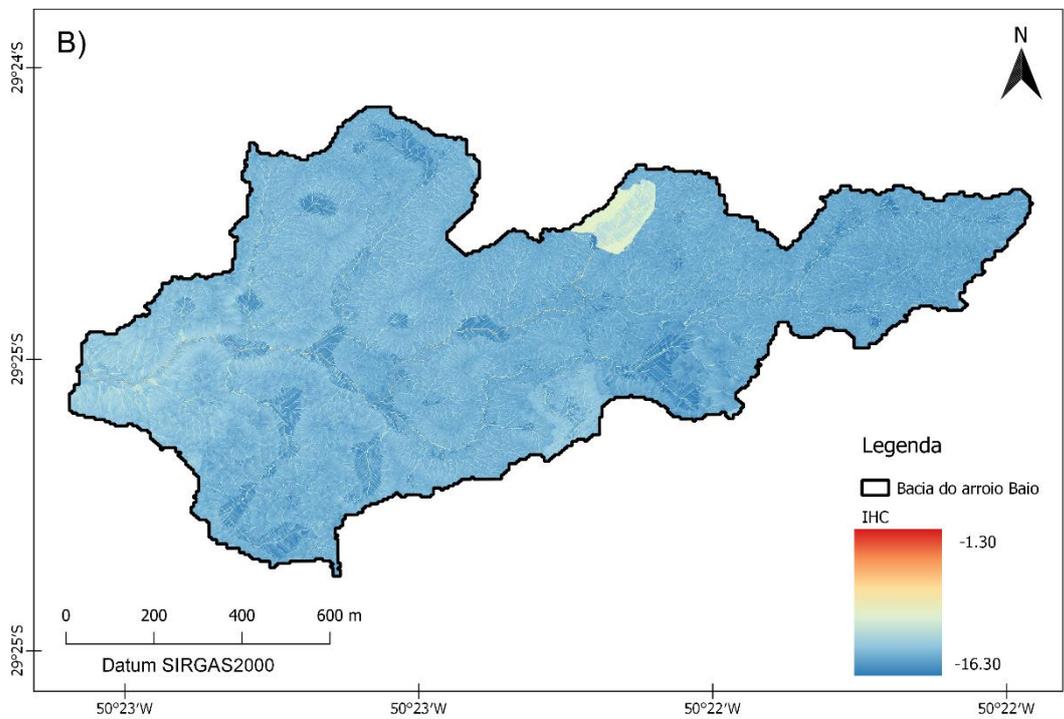
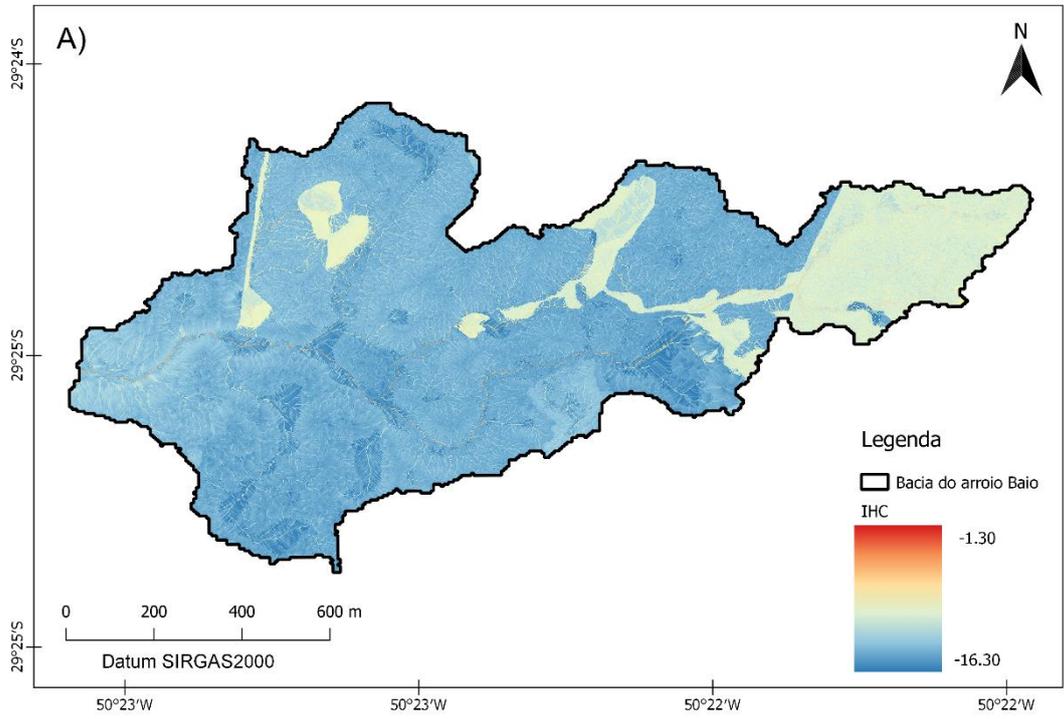
foram examinados diferentes fatores entre os eventos analisados (magnitude de precipitação, condição de umidade do solo antecedente e índice de precipitação de sedimentos). A Tabela 8 apresenta as informações dos eventos monitorados que foram selecionados para aplicação do IHC nos diferentes cenários.

Tabela 8. Eventos selecionados para aplicação do IHC.

Eventos	Data	P acumulada (mm)	AMC	IPS
1	28/07/2020	19,2	I	10,6
2	04/03/2021 a 05/03/2021	41,4	II	102,4
3	28/05/21 a 29/05/21	87,6	I	13,2
4	02/10/2020 a 03/10/20	54,4	III	64,6
5	06/07/2020 a 08/07/2020	125,6	III	12,4

5.3.2. Evento 1

O resultado da aplicação do IHC do evento 1 para os diferentes cenários pode ser observado pela Figura 19. As informações específicas de cada cenário são apresentadas pela Tabela 9.



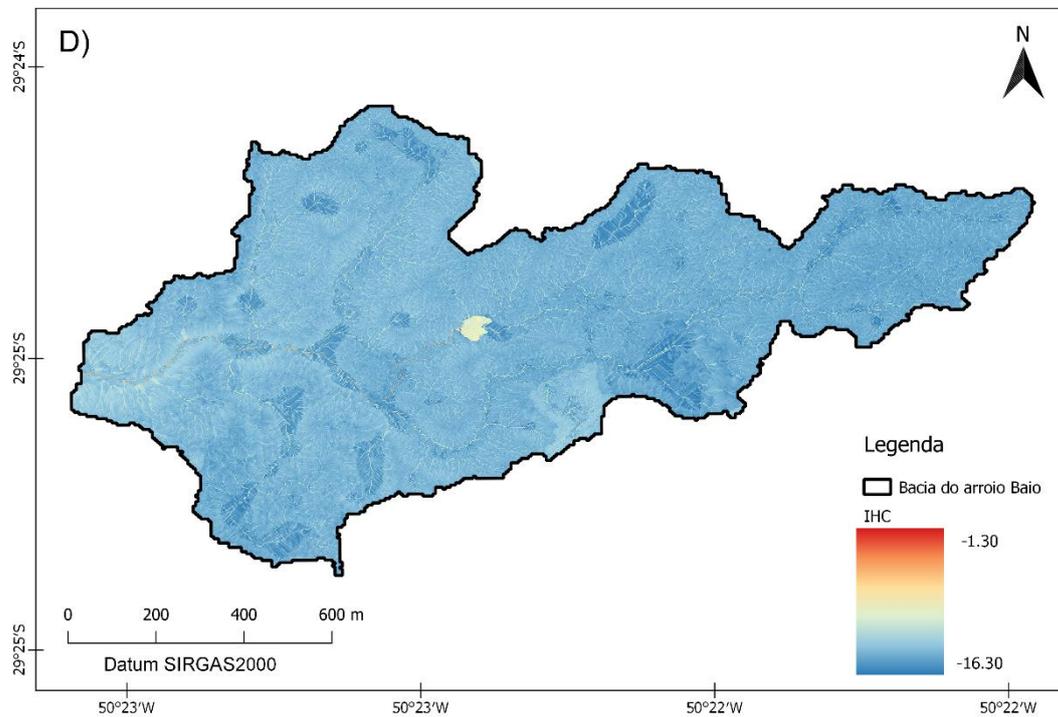
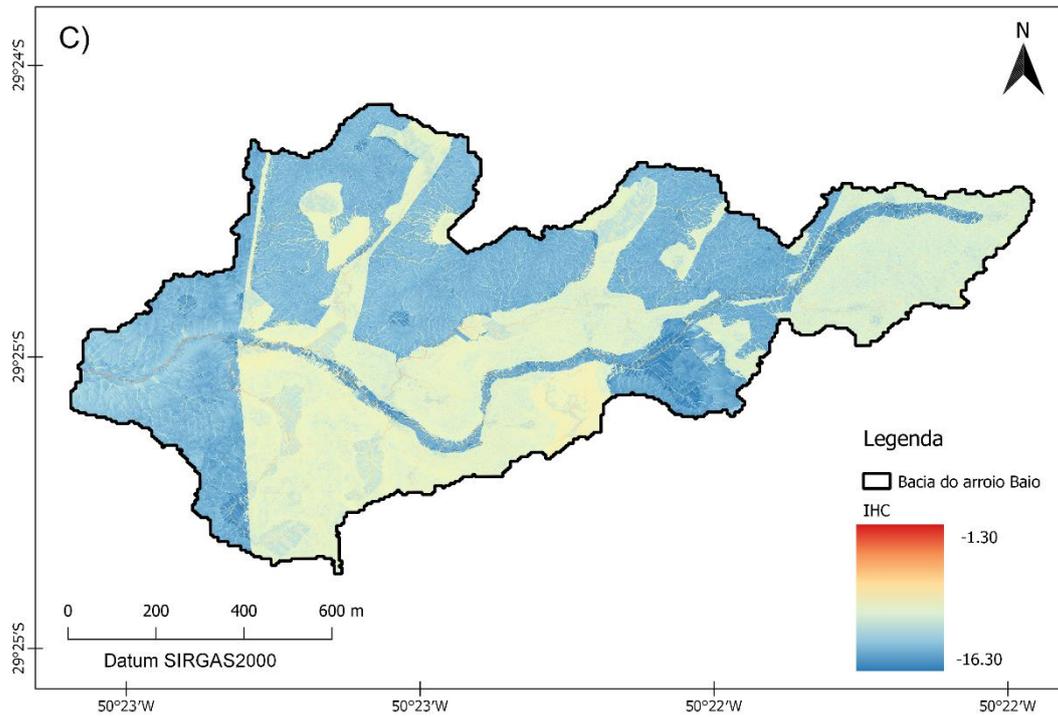


Figura 19. Resultado do IHC aplicado ao Evento 1 nos diferentes cenários analisados: (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) Hipotético B.

Tabela 9. Resultados do evento 1 simulado para os cenários analisados.

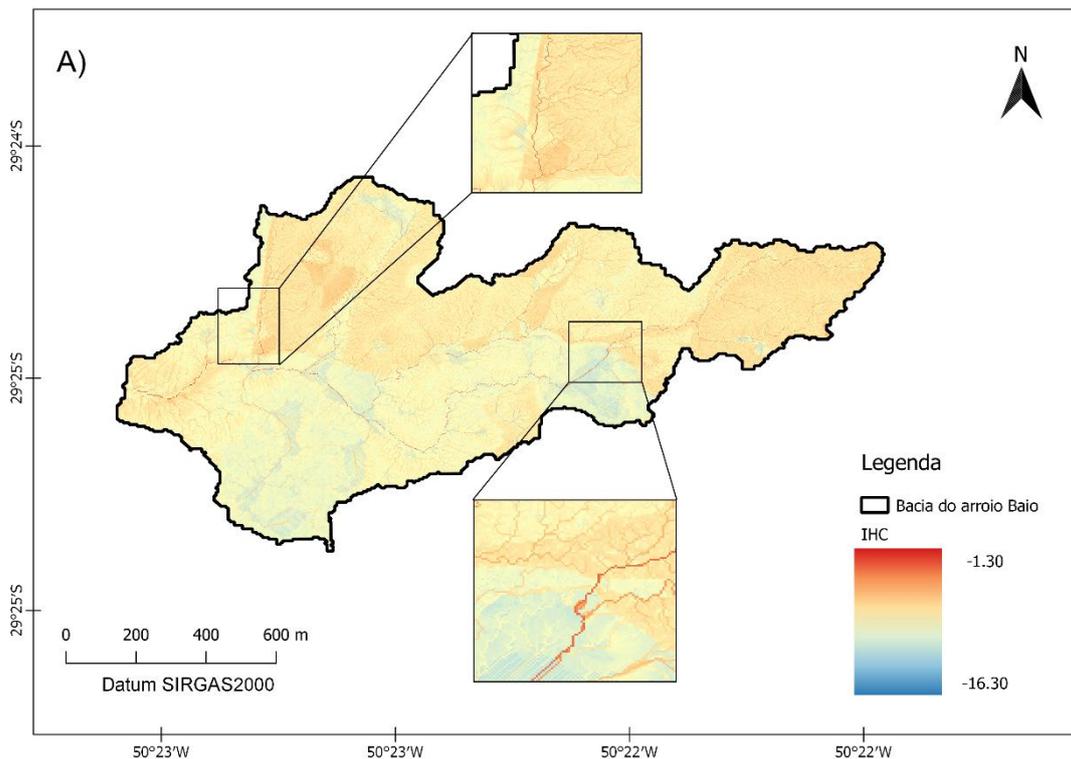
Evento 1	Cenário	IHCmax	IHCmin	IHCmed	IHC (max-min)
	Atual	-4,72	-16,30	-13,31	11,58
	Passado	-6,32	-16,25	-13,94	9,93
	Hipotético A	-4,26	-16,23	-11,92	11,97
	Hipotético B	-5,15	-16,25	-13,93	11,10

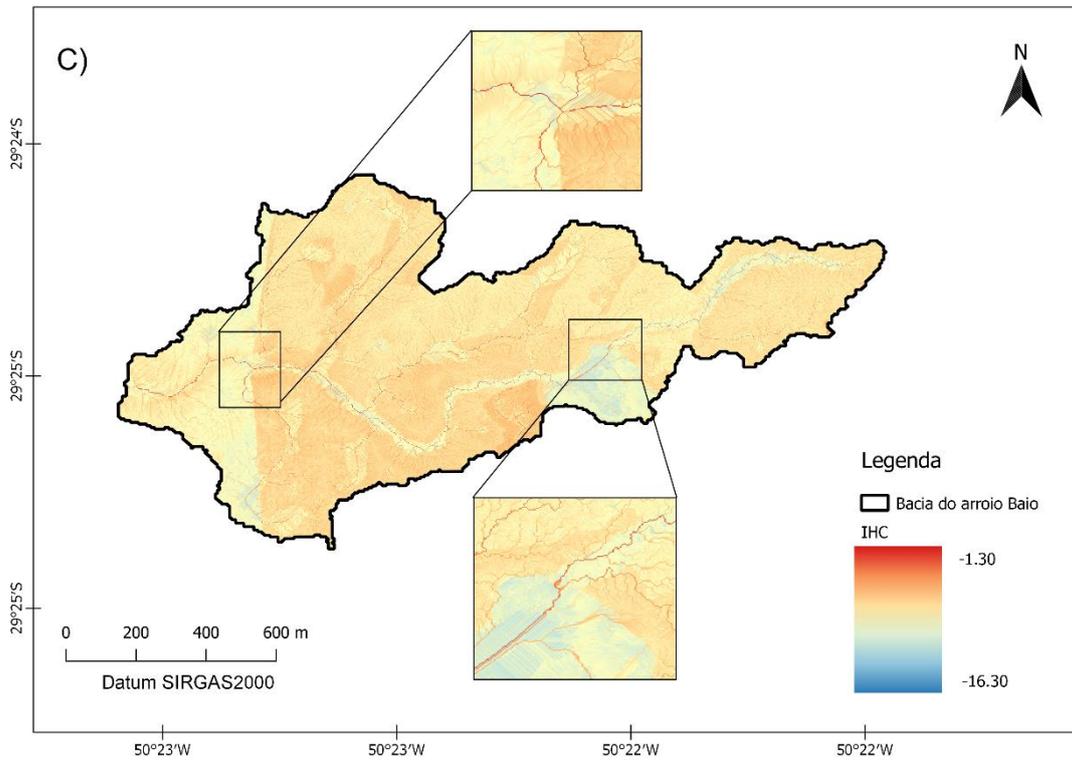
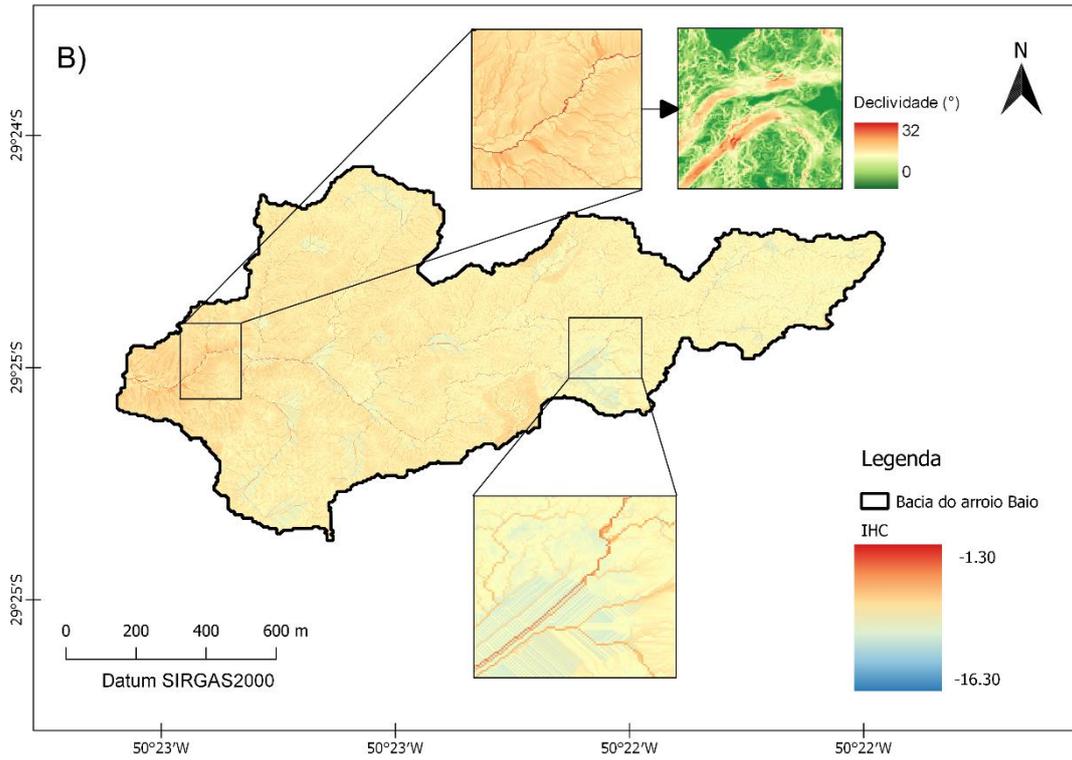
Ao analisar a aplicação do IHC para o evento 1 é possível destacar que a classe de uso do solo denominada solo exposto exerce influência na conectividade hidrossedimentológica na bacia hidrográfica do arroio Baio. Nota-se um aumento na conectividade das regiões em que o solo se encontra em preparação agrícola, o que fica evidenciado nos cenários Atual e Hipotético A, onde as regiões de maior conectividade justamente são as que pertencem a classe do solo exposto, se destacando dos demais usos do solo da bacia. Os valores para o índice IHC mínimo entre os cenários mantiveram-se muito próximos dentro da análise. Isso ocorre devido ao fato de que, para o evento 1, grande parte das regiões não superaram a abstração inicial, ou seja, não foi gerado escoamento superficial. Isso aproximou os valores mínimos de conectividade hidrossedimentológica entre os cenários e destacou as regiões de solo exposto por serem as únicas em que ocorreu escoamento superficial. Para os valores médios, o cenário Hipotético A apresentou os maiores valores de conectividade, seguido pelo cenário Atual, Hipotético B e Passado. O fato é explicado pela presença significativamente superior da classe do solo exposto no cenário Hipotético A, que tem cerca de 47,90% de solo exposto (preparo agrícola) em sua constituição. O que corrobora com o observado por Lopes (2007), onde regiões com solos pouco profundos ou com agricultura com rodízio de culturas pouco profundas expõem a superfície do solo ao fluxo laminar, ampliando a degradação do solo. Fato que justifica o aumento da conectividade dessa classe de solo na simulação. Franco e Souza (2019), também concluem que solos em que se tem a remoção da vegetação e o preparo para a expansão agrícola ocasionam no aumento da conectividade do local. Deve-se atentar a esse aumento da erosão, principalmente em áreas com atividades agrícolas, visto que pode vir a causar a alteração do equilíbrio hídrico natural do sistema e causar a perda da biodiversidade devido aos agentes utilizados na prática agrícola (PANACHUKI, 2003; RIBEIRO et al., 2016).

Ao comparar os cenários, é possível observar uma variação da conectividade de acordo com a mudança do uso do solo de áreas de preparo agrícola para atividades agrícolas já em desenvolvimento. Essa mudança é representada por um cenário em que se encontra em expansão, com áreas de preparação (Hipotético A) e por outro em que todas as áreas voltadas para agricultura já se encontram aptas (Hipotético B). O fato leva a conclusão de que a rotatividade de culturas na região da bacia hidrográfica do arroio Baio influencia em sua conectividade hidrossedimentológica.

5.3.3. Evento 2

O resultado da aplicação do IHC para o evento 2 nos diferentes cenários pode ser observado pela Figura 20. As informações específicas de cada cenário são apresentadas pela Tabela 10.





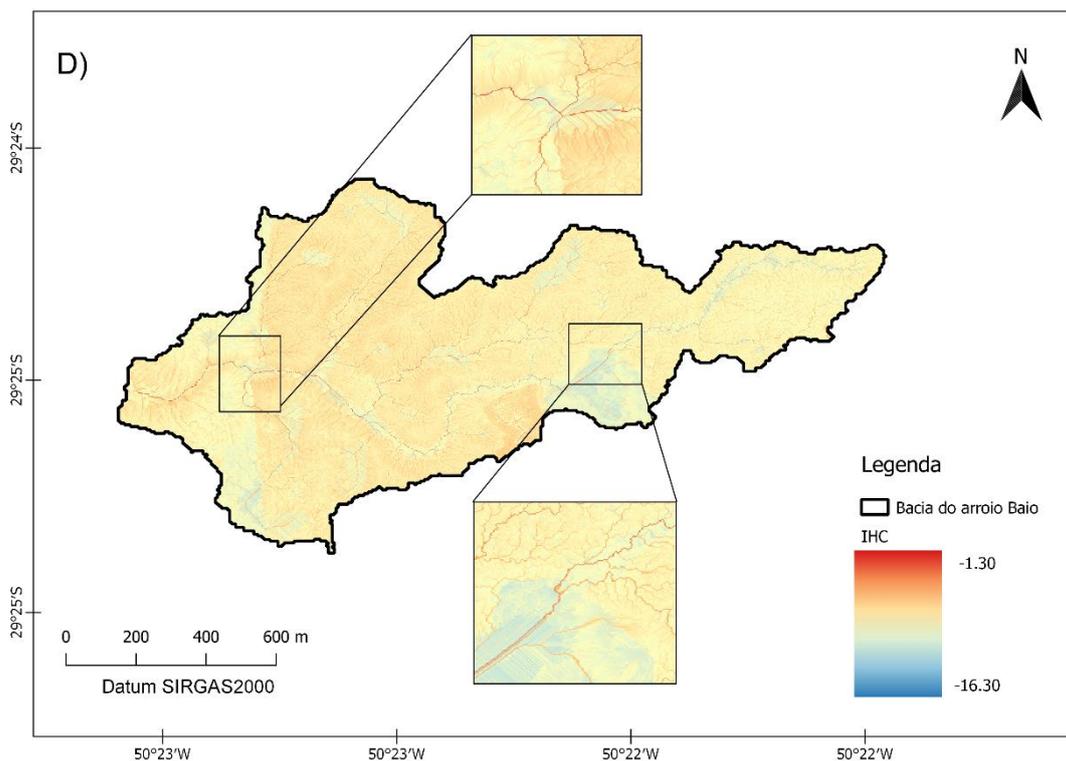


Figura 20. Resultado do IHC aplicado ao Evento 2 nos diferentes cenários analisados: (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) Hipotético B.

Tabela 10. Resultados do evento 2 simulado para os cenários analisados.

Evento 2	Cenário	IHCmax	IHCmin	IHCmed	IHC (max-min)
	Atual	-1,87	-11,39	-8,38	9,52
	Passado	-2,46	-11,35	-8,67	8,89
	Hipotético A	-1,44	-11,32	-7,75	9,88
	Hipotético B	-1,99	-11,34	-8,22	9,35

Examinando os resultados obtidos na aplicação do IHC para o evento 2, observa-se um destaque para as regiões de solo exposto e atividades agrícolas. As regiões mencionadas se destacam na Figura 20 por apresentarem maior conectividade que as demais. Observa-se essa diferença na análise do mapa do cenário Passado, que não possui áreas com atividades agrícolas e tem apenas uma pequena parcela de solo exposto (1,52%) em sua composição. Assim, na ausência das classes de uso de solo que resultam a maior conectividade para o evento 2, a região em que se encontram os maiores valores de conectividade para o cenário Passado, é a região que possui os valores de declividade mais elevados. Isso se explica pelo motivo do cenário Passado apresentar uma grande predominância de apenas uma classe de uso do solo (campo = 93,24%).

Deste modo, a declividade entra como o fator dominante na conectividade hidrossedimentológica do cenário Passado. Esse peso ao fator da declividade também é encontrado em Zanandrea et al. (2019), que comentam a importância da declividade na conectividade de sedimentos. Em contrapartida, não se encontra essa dominância da declividade nos outros cenários, o que leva a conclusão de que os demais usos do solo apresentam maior dominância do que a declividade, na conectividade hidrossedimentológica da bacia do arroio Baio. Segundo Hooke, Souza e Marchamalo (2021), o fator uso do solo pode diminuir a influência do ângulo de inclinação na conectividade hidrossedimentológica, como acontece nos demais cenários que apresentam outros usos de solo para a região de maior declividade da região. Esse fato se justifica pela presença de floresta plantada nessa região, em todos os cenários menos no Passado. O que corrobora com o descrito por Persichillo et al. (2018), onde um aumento da cobertura vegetal em encostas pode ser considerado como um dos principais fatores que contribuem para desconectar fontes de sedimentos, o que justifica a perda da influência da declividade nos outros cenários analisados.

O cenário que apresentou a maior conectividade foi o Hipotético A ($IHC_{\text{méd}}:-7,75$), seguido pelo Hipotético B ($IHC_{\text{méd}}:-8,22$), Atual ($IHC_{\text{méd}}:-8,38$) e Passado ($IHC_{\text{méd}}:-8,67$). Vale ressaltar que por mais que o cenário Atual apresente solo exposto, que é a classe de solo que apresenta maior conectividade hidrossedimentológica, o cenário Hipotético B apresentou maiores valores do IHC. Isso se explica pela configuração do cenário apresentar cerca de 76,79% de sua cobertura em atividades agrícolas, evidenciando sua influência sobre a conectividade hidrossedimentológica na bacia do arroio Baio. Esse resultado é ratificado por Lizaga et al. (2018), onde os autores comentam que a intensificação das atividades agrícolas afeta significativamente todo o comportamento hidrológico e rege a conectividade de sedimentos de uma região. A alteração nos processos hidrológicos e geomorfológico de regiões que apresentam atividades agrícolas se dá através da alteração das declividades, propriedades do solo e frequente mudança dos padrões naturais de drenagem das paisagens (LLENA et al., 2019).

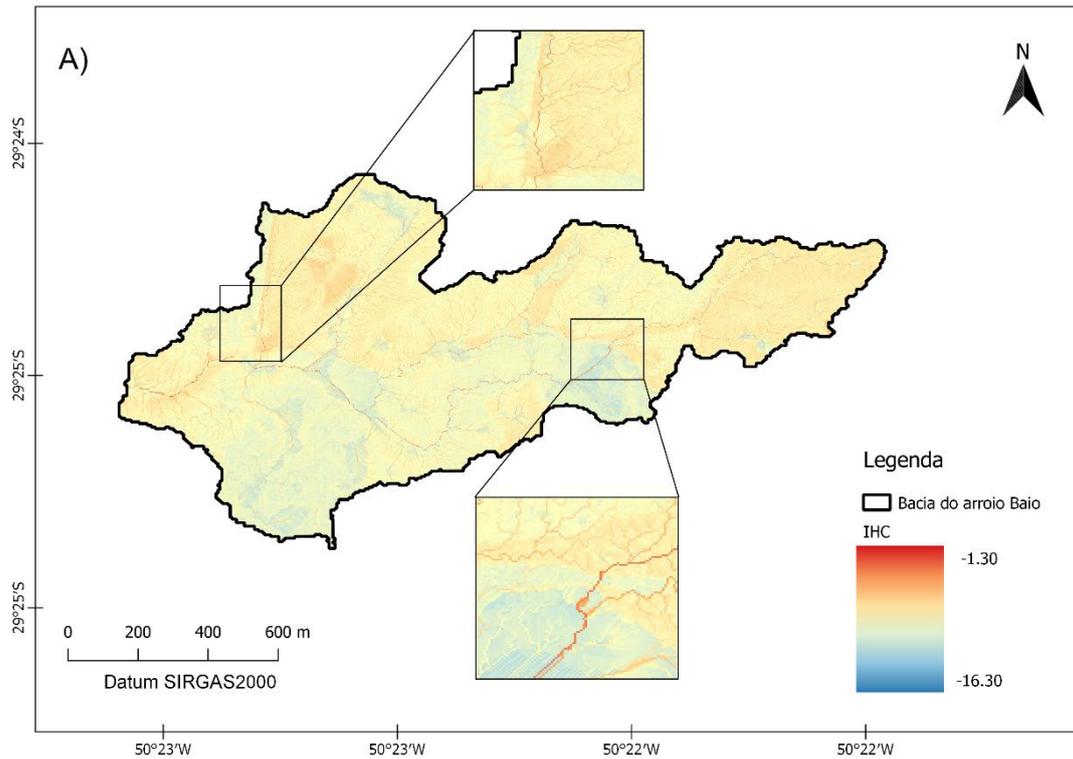
Ao analisar os valores mínimos de conectividade hidrossedimentológica entre os cenários, nota-se grande similaridade entre os resultados, o que é

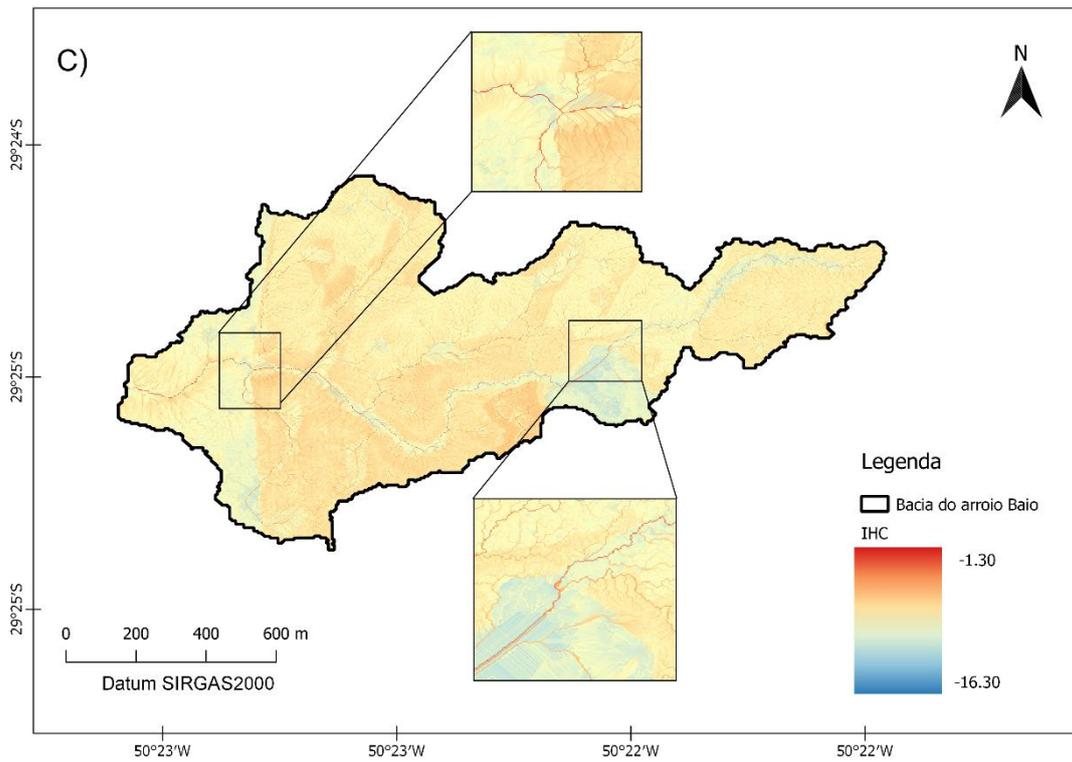
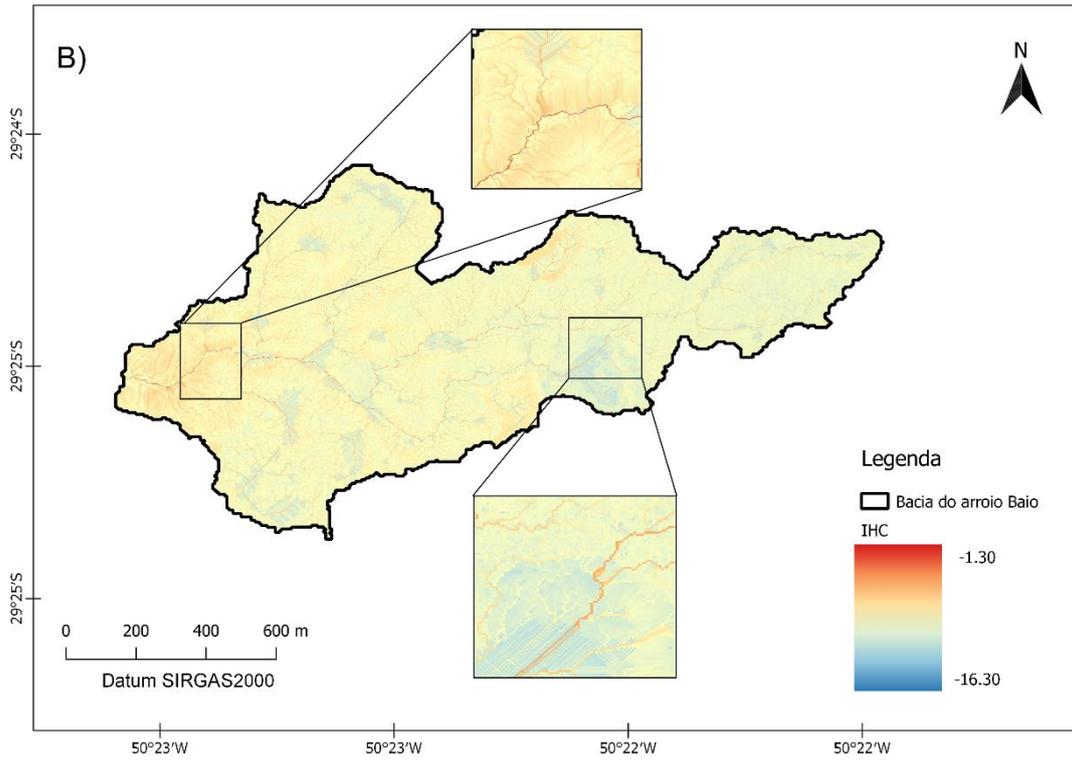
esperado. Como mostra em destaque no mapa, a região que possui os menores valores de conectividade hidrossedimentológica na bacia hidrográfica do arroio Baio é a região demonstrada pela Figura 11, que representa a maior parcela de floresta nativa, os chamados capões, da bacia. Como em todos os cenários essa mesma região foi mantida, ela apresentou o maior grau de desconectividade hidrossedimentológica da bacia do arroio Baio, tendo seus valores muito próximos entre os cenários. O que leva a conclusão de que essa região atua como um ponto que resulta na menor conexão da região, independente dos demais tipos de uso do solo da bacia.

Vale ressaltar que, além da floresta nativa, as regiões de floresta plantada também apresentaram valores de conectividade hidrossedimentológica baixos, quando comparados com os outros usos do solo. Tratando-se da floresta plantada, sua influência na conectividade hidrossedimentológica é observada ao analisarmos os cenários Atual e os Hipotéticos. No cenário Atual, por possuir uma maior área de floresta plantada, a região de valores com uma conectividade menor é mais extensa. Quando analisamos os cenários Hipotéticos, a região de conectividade menor recua conjuntamente com o recuo sobre a classe de uso do solo de floresta plantada que foi reduzida na definição do cenário. De acordo com Coulthard e Van de Wiel (2017), áreas de reflorestamento (floresta plantada) afetam diretamente a conectividade de sedimentos dentro de uma bacia hidrográfica, podendo reduzir significativamente a disponibilidade dos sedimentos para o canal. Com a disponibilidade de sedimentos reduzida, é esperado que os valores de conectividade hidrossedimentológica para a região de floresta plantada sejam menores, assim como foram no presente estudo. Esses processos físicos que ocorrem na região de floresta plantada e limitam a disponibilidade de sedimentos para o canal, são representados por um menor valor de CN e o maior valor de Manning, que resulta na menor impedância. Deste modo, resultando também em um menor valor de conectividade hidrossedimentológica.

5.3.4. Evento 3

O resultado da aplicação do IHC para o evento 3 nos cenários analisados pode ser observado pela Figura 21. As informações específicas de cada cenário são apresentadas pela Tabela 11.





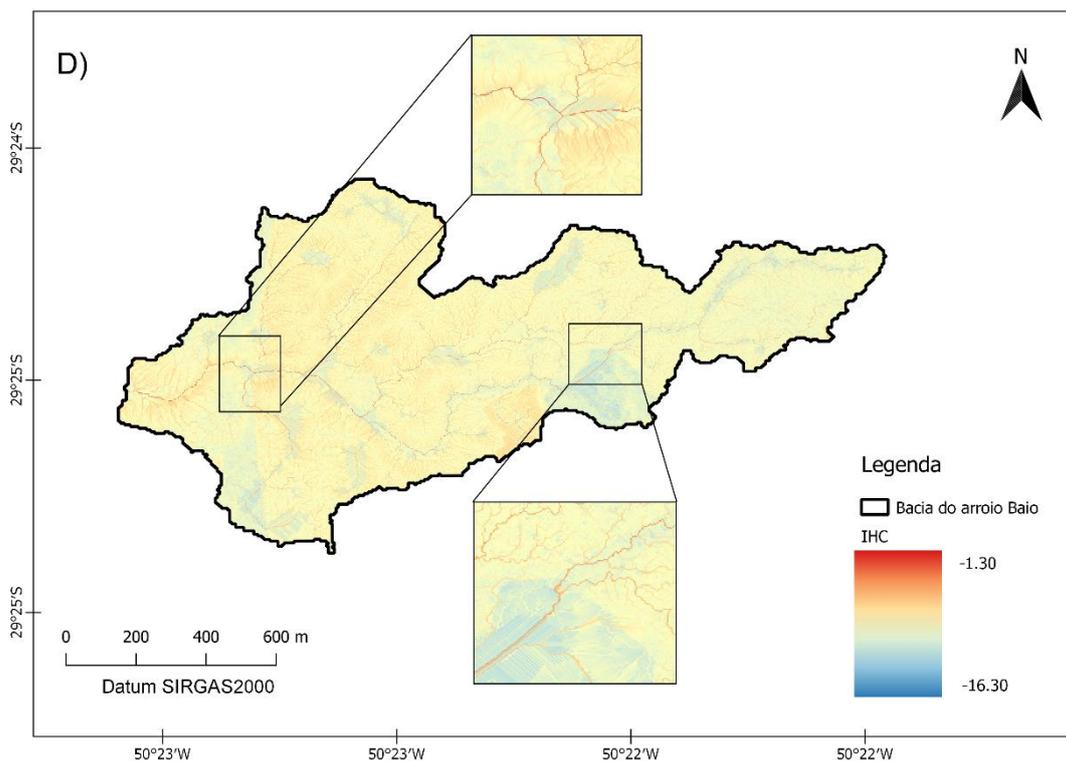


Figura 21. Resultado do IHC aplicado ao Evento 3 nos diferentes cenários analisados: (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) Hipotético B.

Tabela 11. Resultados do evento 3 simulado para os cenários analisados.

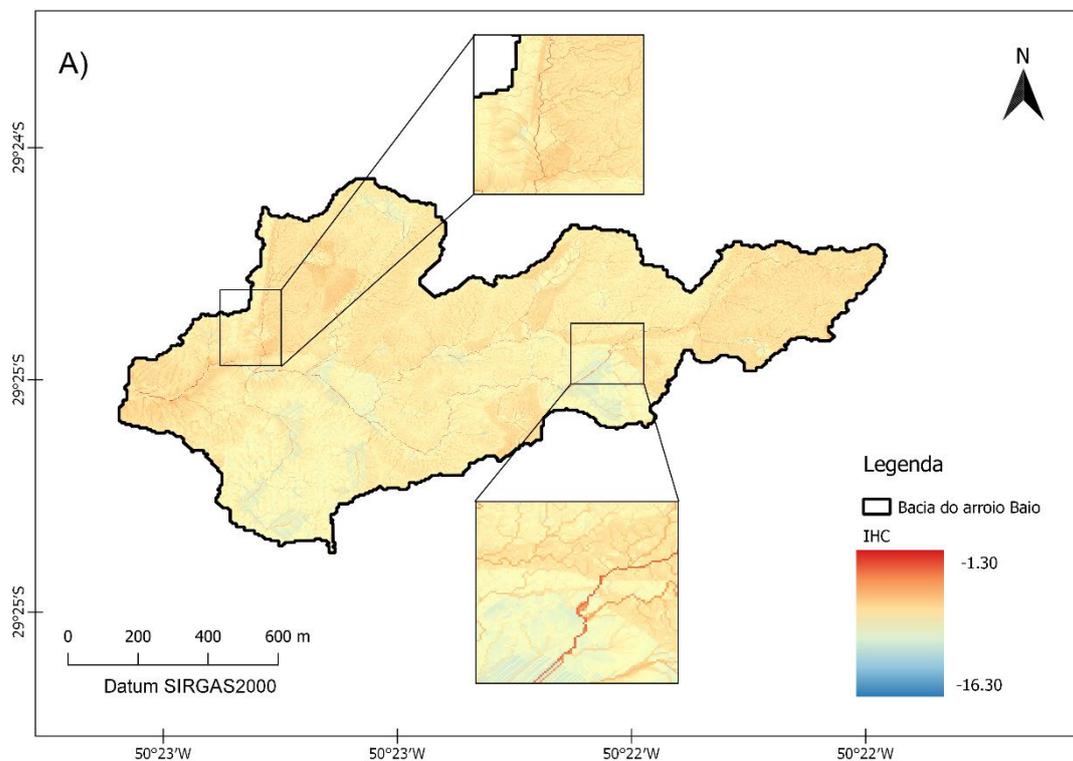
Evento 3	Cenário	IHCmax	IHCmin	IHCmed	IHC (max-min)
	Atual	-2,31	-11,67	-8,75	9,36
	Passado	-2,75	-11,62	-8,95	8,87
	Hipotético A	-1,91	-11,60	-8,18	9,69
	Hipotético B	-2,57	-11,74	-8,79	9,17

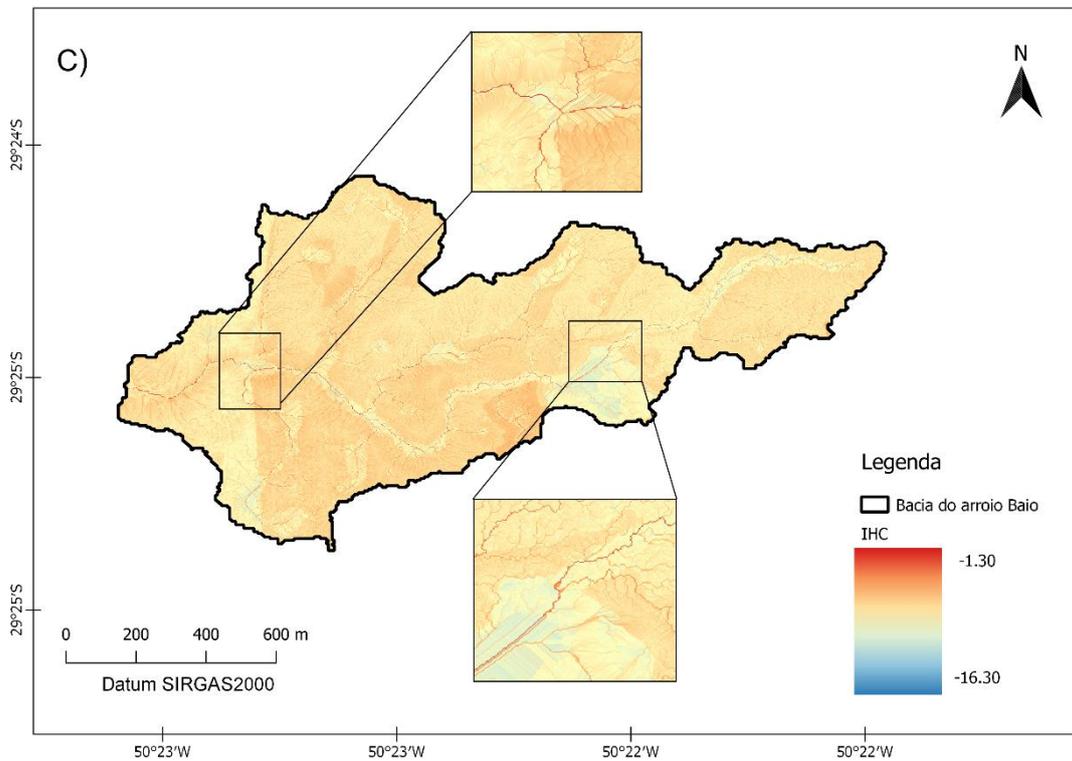
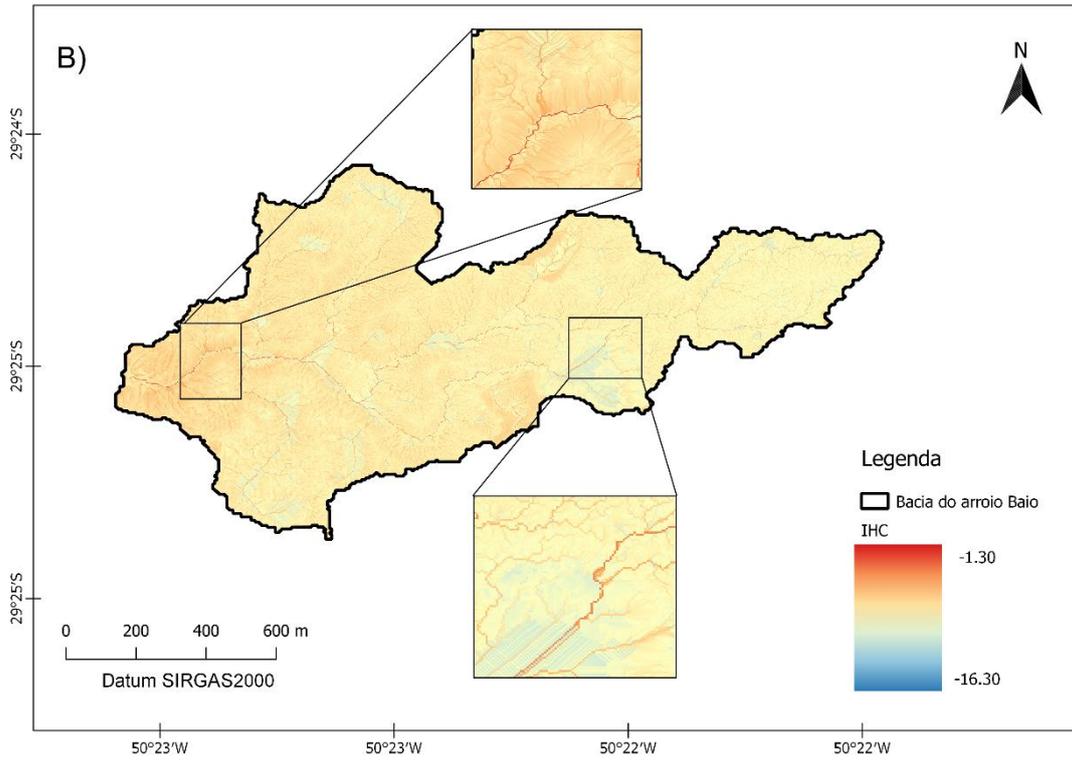
Ao explorar os resultados da aplicação do IHC para o evento 3, é possível observar que as áreas com as classes de solo exposto e atividades agrícolas são as áreas que apresentam a maior conectividade. Resultado semelhante ao evento 2, porém no evento 3 é possível notar um leve destaque para as regiões de solo exposto. Essa afirmação colabora com o fato de o cenário Hipotético A apresentar a maior conectividade (IHC_{med} : -8.18), visto que nesse cenário exista tanto a classe de solo exposto quanto a classe de atividades agrícolas. O cenário Atual teve uma conectividade média de -8.75, seguido pelo cenário Hipotético B, que obteve -8.79 e pelo Passado com -8,95. Nota-se também, que a região de floresta nativa e floresta plantada novamente apresentam as menores faixas de valores para conectividade hidrossedimentológica. Com destaque para a região da floresta nativa destacada nos mapas, que é responsável pelos menores

valores de conectividade hidrossedimentológica da região e pela similaridade dos valores mínimos encontrados entre os cenários analisados. Mesmo o cenário Passado sendo o cenário com menor cobertura de floresta nativa e plantada, apresentou a menor conectividade. O fato se justifica pela grande presença da classe de uso de solo campo, pela ausência de atividades agrícolas e pela grande redução das áreas com solo exposto. Esta conclusão também é encontrada no trabalho de Appels, Bogaart e Van Der Zee (2016), onde os autores determinaram que a classe de uso do solo de campo/pastagens é capaz de diminuir a velocidade do fluxo e o poder de erosão da área, abaixando assim a concentração de sedimentos a serem transportados, o que conseqüentemente gera uma menor conectividade hidrossedimentológica.

5.3.5. Evento 4

O resultado da aplicação do IHC para o evento 4 pode ser observado para os 4 cenários na Figura 22. As informações específicas de cada cenário são apresentadas pela Tabela 12.





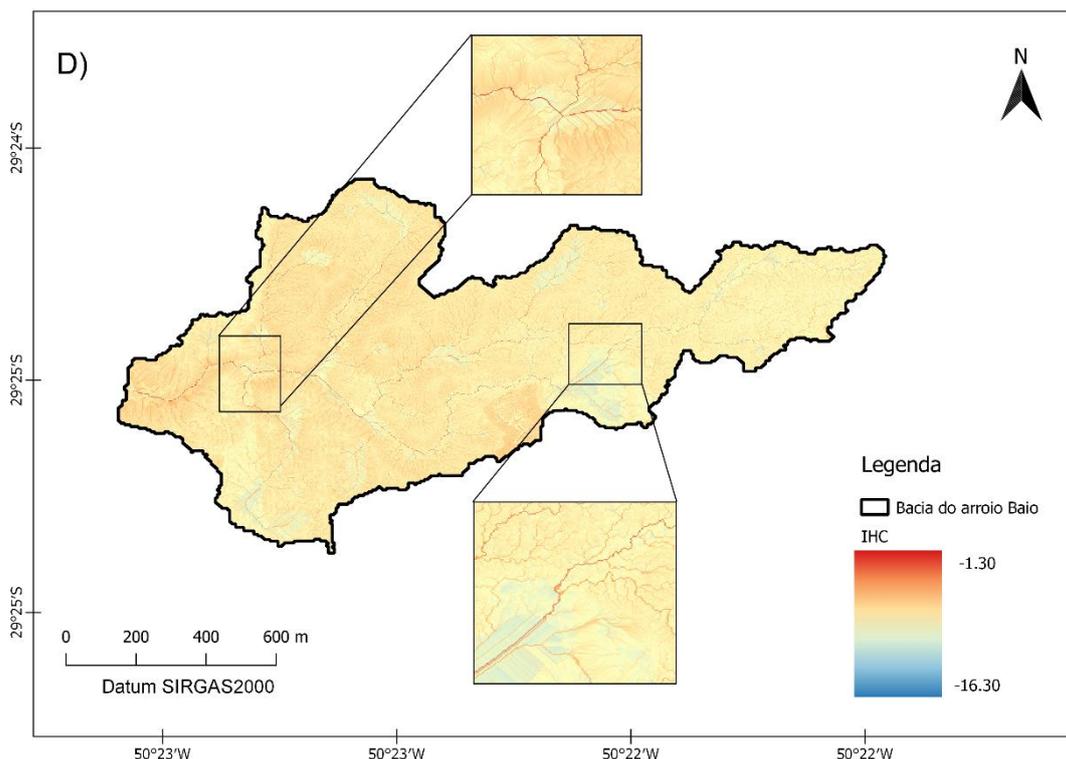


Figura 22. Resultado do IHC aplicado ao Evento 4 nos diferentes cenários analisados: (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) Hipotético B.

Tabela 12. Resultados do evento 4 simulado para os cenários analisados.

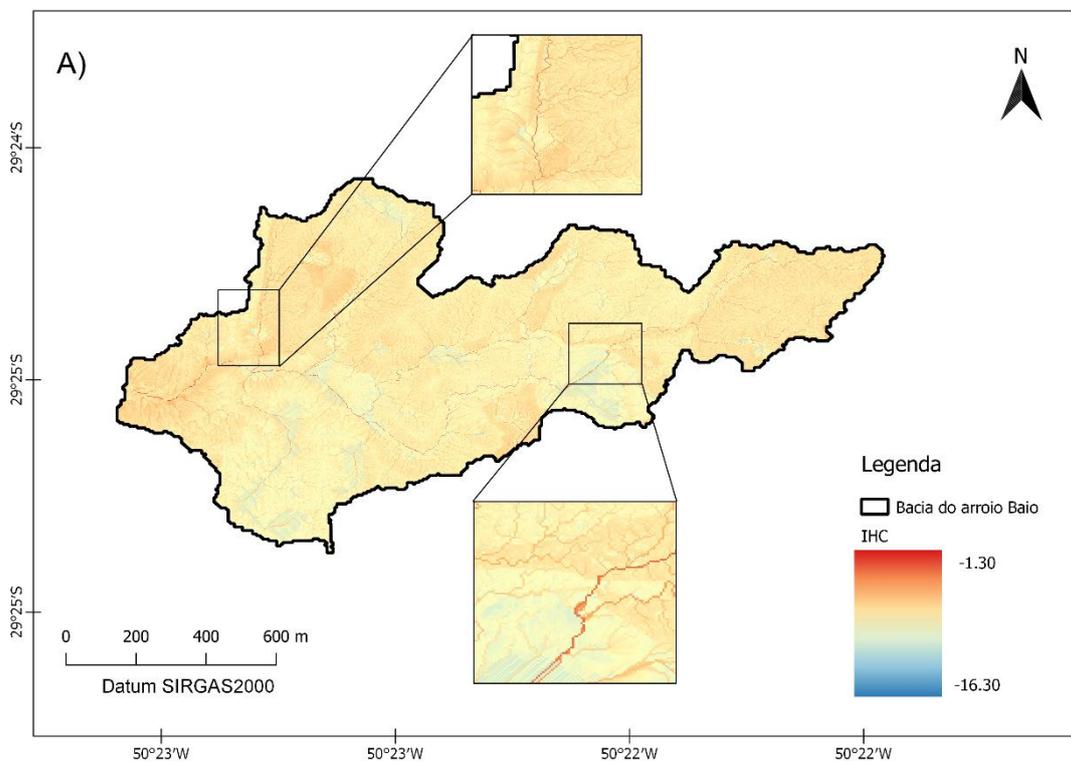
Evento 4	Cenário	IHCmax	IHCmin	IHCmed	IHC (max-min)
	Atual	-1,63	-10,63	-7,99	9,00
	Passado	-1,87	-10,58	-8,06	8,71
	Hipotético A	-1,31	-10,56	-7,53	9,25
	Hipotético B	-1,80	-10,58	-7,87	8,78

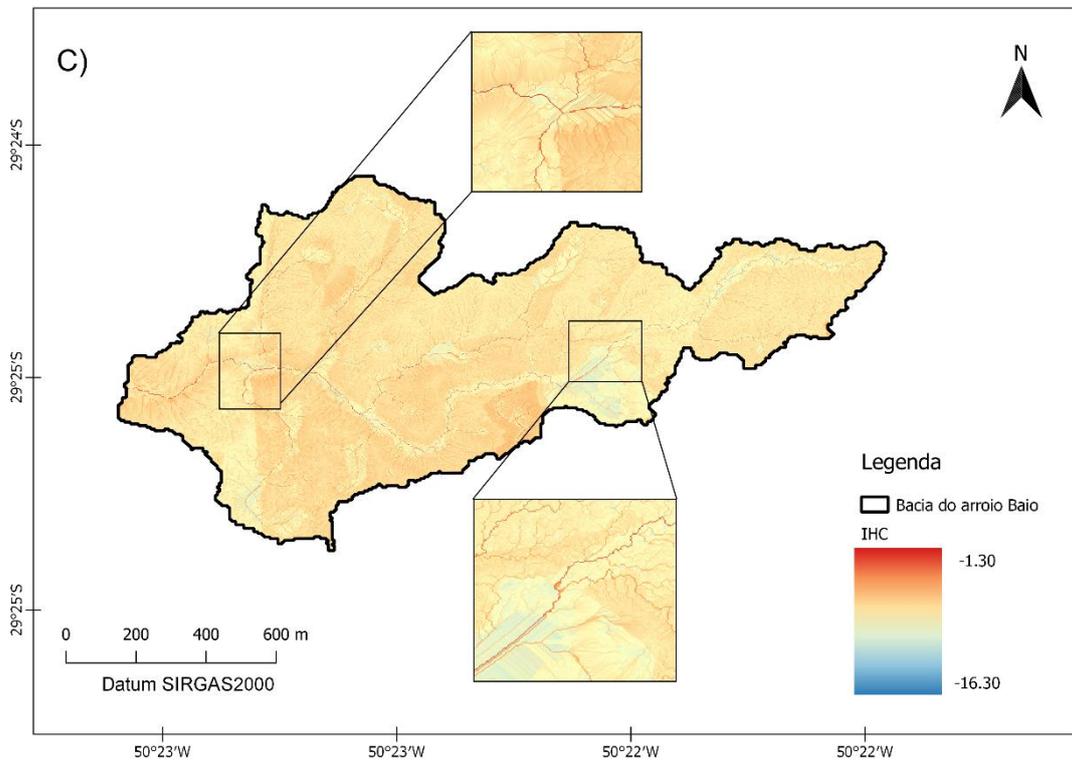
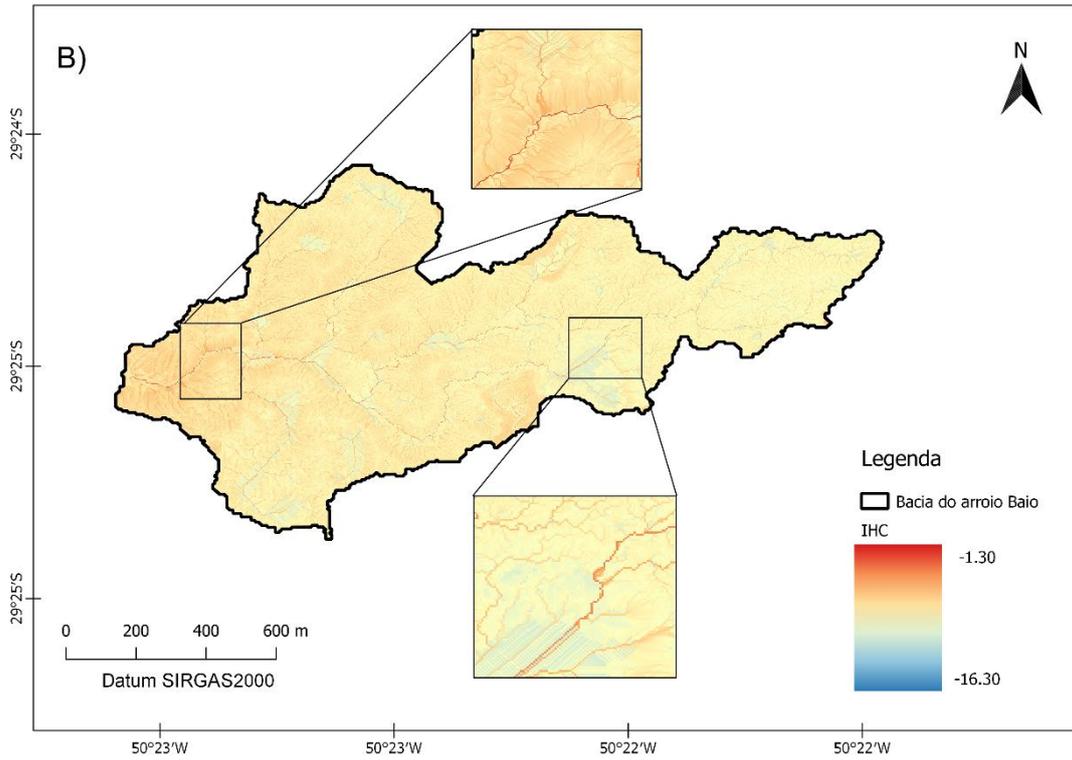
Verificando a aplicação o IHC para o evento 4 nota-se que se trata do evento que possui os maiores valores de conectividade para todos os cenários analisados. A ordem dos cenários com maior conectividade é: cenário Hipotético A ($IHC_{\text{méd}}: -7,53$), seguido pelo Hipotético B ($IHC_{\text{méd}}: -7,87$), Atual ($IHC_{\text{méd}}: -7,99$) e Passado ($IHC_{\text{méd}}: -8,06$). O resultado é justificado pela cobertura da classe de uso do solo exposto e das atividades agrícolas, conforme já foi observado no evento 2. Vale ressaltar que os valores máximos de conectividade da região são encontrados no cenário Hipotético A, na classe de uso do solo do solo exposto, que reforça a influência para a conectividade hidrossedimentológica da região. Novamente é possível observar a influência das florestas plantadas e nativa na conectividade da bacia do arroio baio, que apresentam os menores valores de conectividade nos cenários analisados.

Devido aos valores apresentados pela Tabela 12 serem muito próximos em todos os cenários, se conclui que para o evento 4, o que rege a conectividade hidrossedimentológica na região é outro fator que não o uso do solo. Esse fato é explorado com mais detalhes na análise feita no item 5.4.

5.3.6. Evento 5

O resultado da aplicação do IHC para o evento 5 nos 4 cenários pode ser observado pela Figura 23. As informações específicas de cada cenário são apresentadas pela Tabela 13.





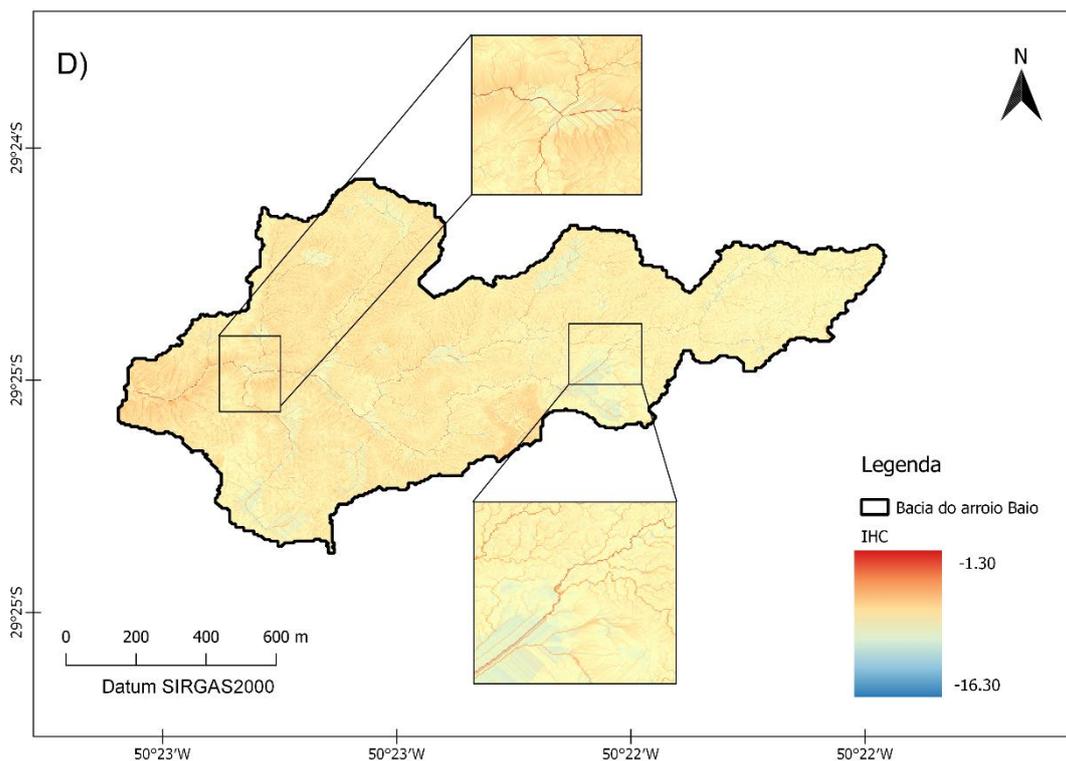


Figura 23. Resultado do IHC aplicado ao Evento 5 nos diferentes cenários analisados: (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) hipotético B.

Tabela 13. Resultados do evento 5 simulado para os cenários analisados.

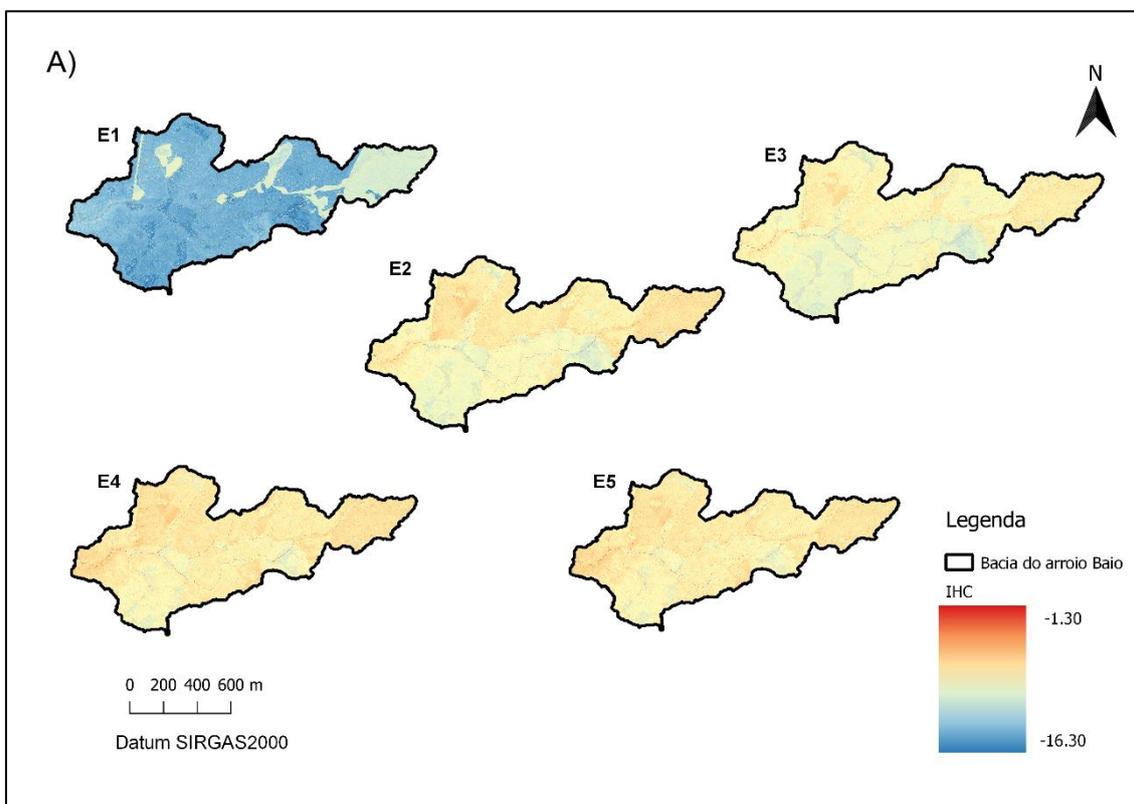
Evento 5	Cenário	IHCmax	IHCmin	IHCmed	IHC (max-min)
	Atual	-1,70	-10,52	-8,04	8,82
	Passado	-1,92	-10,48	-8,10	8,56
	Hipotético A	-1,43	-10,45	-7,64	9,02
	Hipotético B	-1,87	-10,48	-8,04	8,61

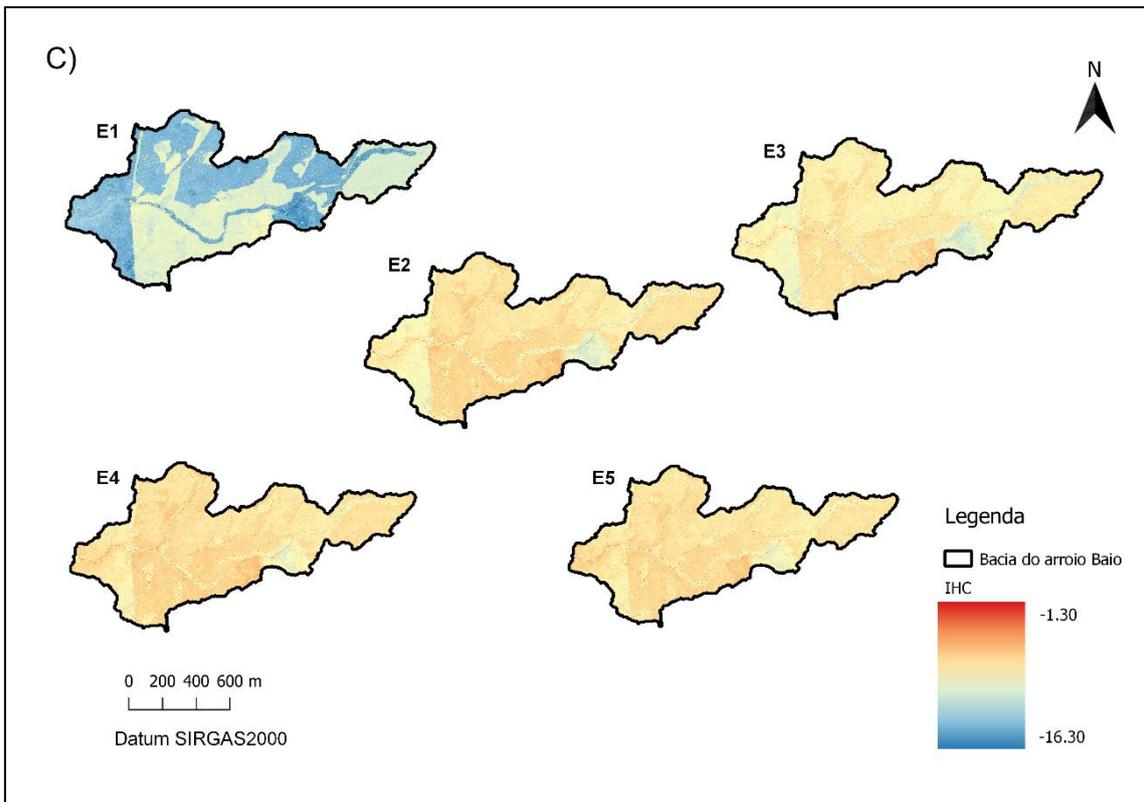
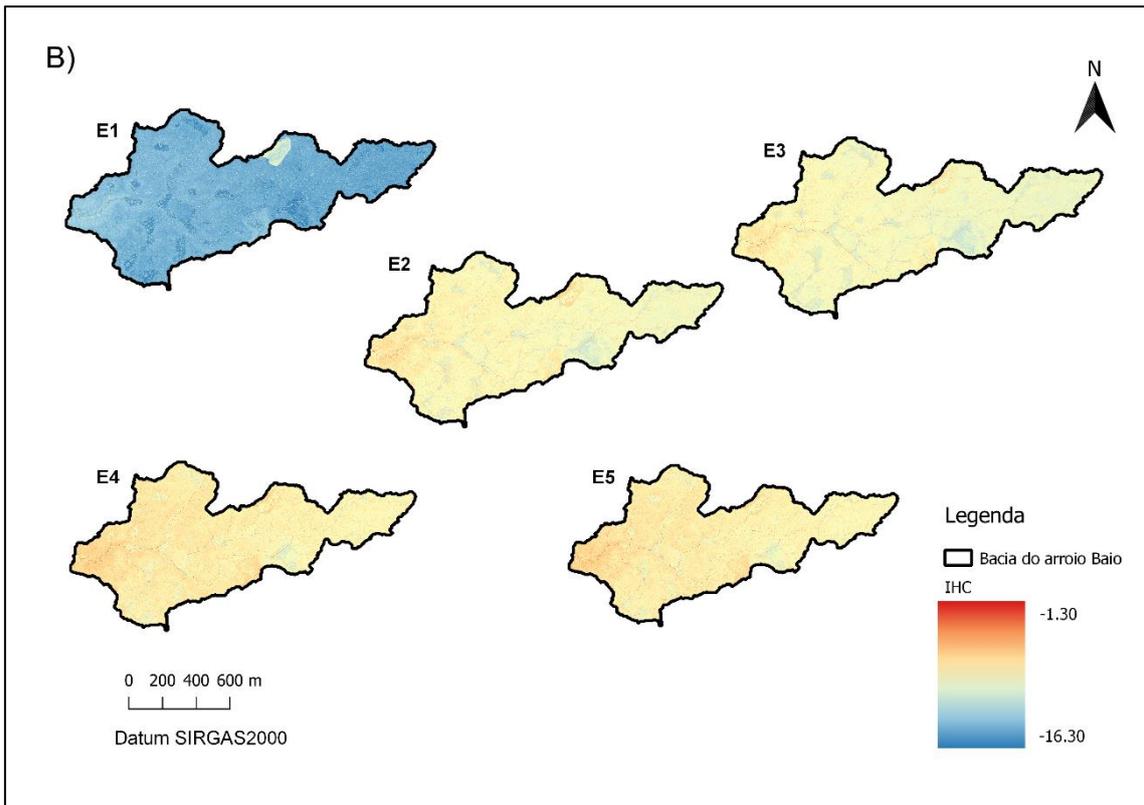
Examinando os resultados obtidos para a aplicação do IHC no evento 5 é possível observar que as áreas com maior conectividade são referentes as classes de solo exposto e atividades agrícolas. Sendo assim, o cenário que apresentou os maiores valores para a conectividade hidrossedimentológica foi o Hipotético A (IHC_{med} : - 7,64), seguido pelo Hipotético B e Atual (IHC_{med} : - 8,04) e pelo Passado (IHC_{med} : - 8,10). Os valores máximos no índice foram registrados no cenário Hipotético A, na classe de uso do solo exposto, como já observado nos outros eventos simulados. Mais uma vez, é possível distinguir a região das florestas plantadas e nativas como as regiões que apresentam a menor conectividade da bacia do arroio Baio, fato que reforça a influência dessas regiões na conectividade hidrossedimentológica local.

Para o evento 5, devido à proximidade dos valores máximos, mínimos e médios do IHC, apresentados na Tabela 13 conclui-se o uso do solo não é o fator que rege a conectividade hidrossedimentológica da região. Assim, como observado no evento 4.

5.4. ANÁLISE ENTRE EVENTOS

A análise entre os cenários permite a avaliação direta da influência que diferentes usos do solo da região possuem sobre a conectividade hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do arroio Baio. Entretanto, de acordo com Fortesa et al. (2021), processos internos (infiltração, interceptação e escoamento superficial) também desempenham um importante papel na conectividade hidrossedimentológica, fazendo com que a análise de aspectos funcionais seja indispensável para a análise. Assim, com o objetivo de avaliar conjuntamente a influência de outros fatores na conectividade hidrossedimentológica, foi realizada uma análise entre os diferentes eventos selecionados. A Figura 24 exibe os eventos separados pelos cenários e a Tabela 14 apresenta os resultados simulados para todos os eventos e cenários.





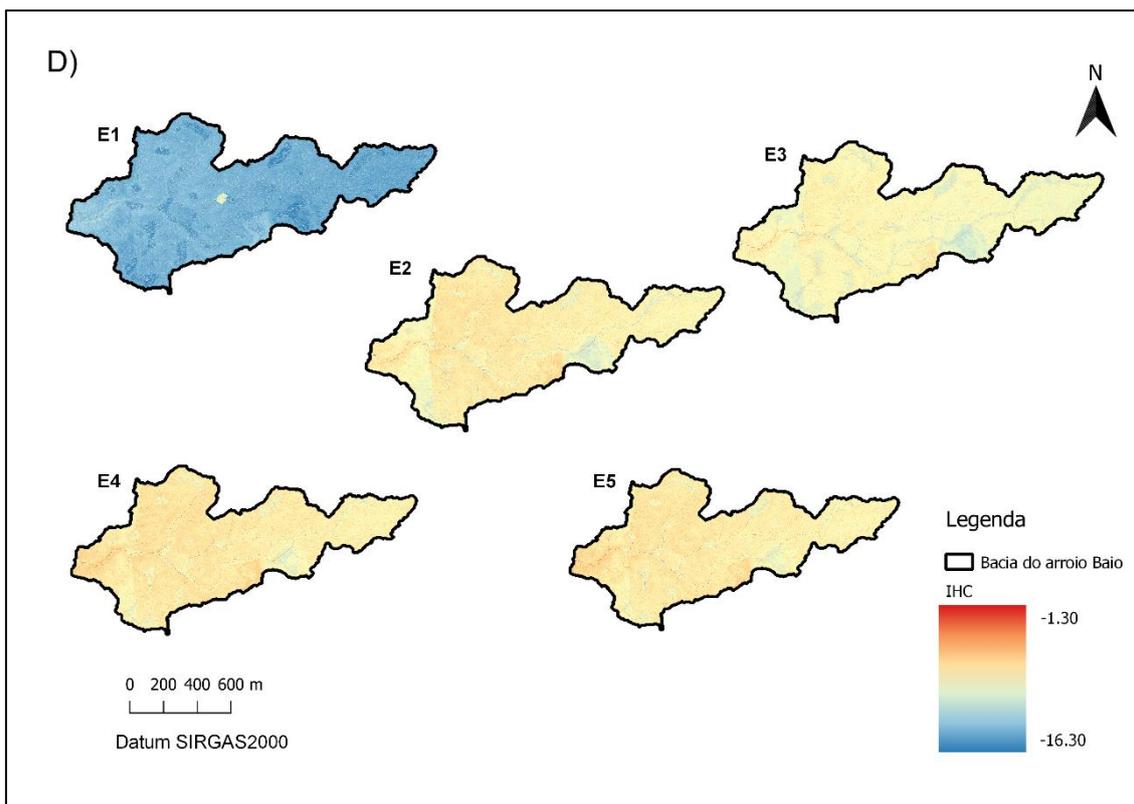


Figura 24. Resultados da aplicação do IHC dos eventos por cenário. (A) Atual, (B) Passado, (C) Hipotético A e (D) Hipotético B.

Tabela 14. Resultado dos eventos simulados para todos os eventos e cenários.

Cenário	Evento	IHC _{max}	IHC _{min}	IHC _{med}	P _{acum} (mm)	IPS	AMC CN
Atual	1	-4,72	-16,3	-13,31	19,2	10,6	I
	2	-1,87	-11,39	-8,38	41,4	102,4	II
	3	-2,31	-11,67	-8,75	87,6	13,2	I
	4	-1,63	-10,63	-7,99	54,5	64,6	III
	5	-1,70	-10,52	-8,04	125,6	12,4	III
Passado	1	-6,32	-16,25	-13,94	19,2	10,6	I
	2	-2,46	-11,35	-8,67	41,4	102,4	II
	3	-2,75	-11,62	-8,95	87,6	13,2	I
	4	-1,87	-10,58	-8,06	54,5	64,6	III
	5	-1,92	-10,48	-8,10	125,6	12,4	III
Hipotético A	1	-4,26	-16,23	-11,92	19,2	10,6	I
	2	-1,44	-11,32	-7,75	41,4	102,4	II
	3	-1,91	-11,60	-8,18	87,6	13,2	I
	4	-1,31	-10,56	-7,53	54,5	64,6	III
	5	-1,43	-10,45	-7,64	125,6	12,4	III
Hipotético B	1	-5,15	-16,25	-13,94	19,2	10,6	I
	2	-1,99	-11,34	-8,22	41,4	102,4	II
	3	-2,57	-11,74	-8,79	87,6	13,2	I
	4	-1,80	-10,58	-7,87	54,5	64,6	III
	5	-1,87	-10,48	-8,04	125,6	12,4	III

O evento 1, em todos os cenários analisados, apresentou a menor conectividade, como já era esperado, visto que apresenta a menor chuva acumulada, a menor disponibilidade de sedimentos e a menor condição de umidade do solo antecedente. Ao comparar o evento 2 e 3 nota-se que, mesmo com mais que o dobro da magnitude da precipitação acumulada o evento 3 apresenta menor conectividade do que o evento 2, porém, o valor de *IPS* para o evento 2 é muito superior ao do evento 3. O evento 2 apresenta um evento de precipitação antecedente de aproximados 32 mm, com uma alta intensidade máxima (4,6 mm/5min), quando comparada aos outros eventos selecionados. Fato que evidencia a importância do índice de precipitação de sedimentos, que expressa a existência de sedimentos disponíveis para serem transportados pela água. Medeiros e Araújo (2014) também concluíram que eventos antecedentes de alta intensidade e pequena duração disponibilizam sedimentos à eventos futuros. O mesmo pode ser observado ao analisar os eventos 4 e 5, onde mesmo com uma precipitação inferior e mesma classe de condição de umidade de solo antecedente, o evento 4 apresenta uma maior conectividade. No estudo de Abatti (2021) o mesmo resultado foi obtido em uma análise semelhante, onde a configuração dos eventos antecedentes dita o grau da conectividade hidrossedimentológica.

O evento que apresentou maior conectividade foi o evento 4, mesmo não possuindo nem a maior precipitação, nem o maior *IPS*. A justificativa de tal resultado se dá pelo evento 4 estar na maior condição de umidade antecedente, ou seja, o solo se encontra mais saturado, o que limita a infiltração e favorece o escoamento superficial e leva ao aumento da conectividade hidrossedimentológica. O que evidencia que o *AMC* (umidade antecedente dos solos) também tem um forte peso na conectividade hidrossedimentológica da bacia do arroio Baio. Essa umidade antecedente é representada por valores de *CN* mais altos para as classes de uso de solo e conseqüentemente uma lâmina maior de escoamento. Esse fato evidencia que a utilização de valores maiores para o *CN* gera um aumento na conectividade. O que significa que, caso alguma classe de uso do solo da bacia do arroio Baio venha a ser diferente da configuração atual, levando consigo um aumento no valor de *CN*, é de se esperar que se tenha um aumento na conectividade hidrossedimentológica da região. É

possível observar também que o evento 4 apresenta a maior conectividade dentre os eventos analisados pela combinação de suas características.

Observando as simulações nos diferentes cenários, na Figura 24, principalmente as dos eventos 1 e 2, ficam evidente as regiões que não tiveram significativa conectividade com o exutório da bacia. Essas regiões apresentam um grande potencial de impedância, tanto pela presença de floresta quanto de elementos de cobertura de paisagem (serrapilheira). São as regiões de floresta nativa e floresta plantada, como demonstram a Figura 11 e Figura 13 respectivamente. Essas regiões também são responsáveis pelos valores mínimos similares quando se comparam os mesmos eventos nos diferentes cenários. Avaliando exclusivamente os dados de conectividade gerados, pode-se afirmar que é possível observar uma maior variação na conectividade na análise entre os eventos do que na análise entre os cenários. Esse fato realça a grande significância que o *IPS* e o *AMC* têm na conectividade hidrossedimentológica da bacia do arroio Baio. Desta forma, para valores altos de *IPS* e/ou *AMC*, os fatores se tornam dominantes sobre as demais variáveis, como o uso do solo. Assim, quando as características são as mesmas e o que muda é o uso do solo, as regiões de mínimo e máximo permanecem nas mesmas localizações e com valores muito próximos entre os cenários. Quando a análise é entre os eventos com o cenário fixo, nota-se uma variação maior no valor de conectividade hidrossedimentológica, até mesmo para os mesmos locais que se mantiveram constante na análise entre os cenários. Observando os resultados obtidos, é possível concluir de que o evento 4 possui maior potencial de transferir sedimentos até o exutório da bacia hidrográfica do arroio Baio.

A análise realizada entre os eventos é válida, porém, devem ser ressaltadas suas limitações. A determinação do índice *IPS* foi realizada considerando apenas um evento antecedente, fato que pode estar superestimando ou subestimando a conectividade. Vale ressaltar também, que eventos com diferentes características hidrológicas foram comparados, desta forma, provavelmente os processos que influenciam a conectividade hidrossedimentológica sejam distintos também.

6. CONCLUSÃO

A conectividade hidrossedimentológica vem se tornando um conceito importante para a compreensão dos processos que ocorrem na bacia hidrográfica, representando a transferência física da água e dos sedimentos entre os diversos compartimentos da paisagem. Deste modo, a avaliação da conectividade é um importante passo para compreender o comportamento do sistema, prevendo assim, sua resposta a eventos e mudanças que podem ocorrer dentro da bacia hidrográfica. No presente trabalho, foi realizada a avaliação da influência do uso do solo na conectividade hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do arroio Baio, em relação ao seu exutório.

Mudanças no uso do solo das bacias tem um impacto significativo na dinâmica da água e sedimentos e, portanto, na conectividade. Esse fato foi observado para a conectividade hidrossedimentológica durante a análise nos diferentes cenários da bacia do arroio Baio. Foram observados diferentes padrões de conectividade hidrossedimentológica na bacia, de acordo com os diferentes usos de solo atribuídos. Notou-se mudanças na conectividade hidrossedimentológica conforme o cenário analisado, ou seja, quando o uso do solo da bacia mudava. As classes de uso do solo que apresentaram os maiores valores de conectividade hidrossedimentológica para a região, foram as classes de preparação (solo exposto) e atividades agrícolas. É evidente a diferença provocada por estes usos de solo nos mapas produzidos pelos cenários, quando comparados com os demais usos da bacia. Esse aumento encontrado na conectividade hidrossedimentológica dessas classes de uso do solo é explicado pelo fato dessas atividades deixarem a superfície do solo exposta e aumentarem o fluxo laminar, ampliando a erosão do solo. Assim, facilitando o transporte de sedimentos até o exutório da bacia, e conseqüentemente, aumentando o valor do IHC encontrado nessas regiões. Deve-se atentar a esse aumento da erosão, principalmente em áreas com atividades agrícolas, visto que pode vir a causar a alteração do equilíbrio hídrico natural do sistema e causar a perda da biodiversidade devido aos agentes utilizados na prática agrícola, além do carreamento de nutrientes e matéria orgânica que empobrece o solo para a própria atividade.

Os menores valores de conectividade hidrossedimentológica da região foram encontrados para as classes de uso do solo de floresta nativa (capão) e floresta plantada. Essas regiões apresentam um grande potencial de retenção de sedimentos, tanto pela presença de floresta quanto de elementos de cobertura de paisagem (serrapilheira). Assim, sendo as classes de uso de solo com menor contribuição para o transporte de sedimentos ao exutório da bacia hidrográfica do arroio Baio. O valor mínimo do IHC para estas classes de uso do solo não apresentou grande variação entre os cenários avaliados, deste modo, conclui-se que os demais usos da bacia não alteram os valores de IHC para as regiões de floresta nativa e floresta plantada. O que ressalta a grande importância da manutenção dessas regiões, servindo também como a possibilidade de localização estratégica dentro da bacia, com a finalidade de reter sedimentos.

Foi observada também, a influência da declividade na conectividade hidrossedimentológica do local. Na simulação do evento 2 do cenário Passado, foi possível identificar a influência da declividade na conectividade hidrossedimentológica da região. Enquanto o uso do solo é predominantemente campo, a região de maior declividade foi responsável pelos maiores valores do IHC. Em contrapartida, a dominância da declividade não é identificada nos demais cenários (Atual, Hipotético A e B). Isso é explicado pelo uso do solo dessa região, nos demais cenários, ser de floresta plantada. Assim, se conclui que o fator de uso do solo é dominante sobre o ângulo de inclinação e altera a dinâmica de produção de sedimentos do local. Vale ressaltar também, que os baixos valores para o IHC encontrados ocorrem devido a bacia ser pouco declivosa.

Os dados de monitoramento analisados permitiram a obtenção de informações importantes para a descrição da conectividade hidrossedimentológica nos diferentes eventos selecionados. A partir dos dados, foi analisado como características de diferentes eventos influenciam na conectividade hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do arroio Baio. Dentro das características analisadas (precipitação, *IPS*, umidade antecedente do solo), constatou-se a grande importância da ocorrência de eventos antecedentes, considerado um fato que rege a conectividade. A umidade antecedente (*AMC*)

também demonstrou grande influência na conectividade hidrossedimentológica. Dessa forma, um alto valor de *IPS*, significa que a região apresenta grande disponibilidade de sedimentos que podem ser transportados. Já a classe de umidade antecedente mais alta, representa a saturação do solo, o que gera menor infiltração e maior escoamento superficial. Resultando em uma maior energia para carregar os sedimentos até o exutório da bacia. Observando os resultados obtidos, é possível concluir de que o evento 4 apresentou maior potencial de transferir sedimentos até o exutório da bacia hidrográfica do arroio Baio em todos os cenários analisados. Essa maior conectividade é resultado da combinação dos fatores analisados (*IPS*, *AMC* e precipitação), que provoca o aumento na conectividade local.

Os valores observados entre os eventos apresentam uma maior variação do que os observados entre os cenários. O que é evidenciado ao analisar os valores dos eventos 4 e 5. Fato que leva a conclusão de que o *IPS* e o *AMC* possuem dominância na conectividade hidrossedimentológica, enquanto o uso do solo também possui influência, tornando-se variáveis necessárias para o entendimento do comportamento da região. Vale ressaltar que, para essa conclusão, eventos com diferentes características hidrológicas foram comparados, desta forma, provavelmente os processos que influenciam a conectividade hidrossedimentológica sejam distintos também.

Por fim, é possível destacar que a mudança de uso do solo possui influência na conectividade hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do arroio Baio. Foi possível observar que as áreas agrícolas apresentam variação com o tempo, de acordo com o preparo do terreno. Essa variação temporal do uso do solo é observada também na conectividade hidrossedimentológica. Sendo assim, também foi notado uma variação temporal, além de espacial, da conectividade hidrossedimentológica da região, relacionada com o uso do solo da bacia.

7. RECOMENDAÇÕES

Considerando o trabalho desenvolvido na bacia do arroio Baio, seguem algumas recomendações para trabalhos futuros:

- Monitoramento de sedimentos no exutório da bacia;
- Monitoramento do escoamento superficial e transporte de sedimentos distribuído na área de interesse;
- Realizar a verificação e comparação dos resultados (IHC) com dados de campo;
- Utilizar o IC para a região e verificar as diferenças entre os resultados obtidos pelo IHC;
- Realizar a aplicação do IHC considerando os *sinks* e depressões de acumulação da região;
- Criar linhas de fluxo e verificar a variação da conectividade ao longa da linha com diferentes usos de solo;
- Verificar a influência dos elementos de paisagem na região através da aplicação do IHC e atividades de campo.

8. REFERENCIAS

ABATTI, B.H., ZANANDREA, F., MICHEL, G.P. Aplicação de índice de conectividade de campo em uma pequena bacia. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XXIV, 2021**. Belo Horizonte – MG: ABRH, 2021, p. 1 – 2.

ABATTI, B.H. **Avaliação da conectividade hidrossedimentológica em uma pequena bacia do planalto dos campos gerais no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2021. p. 150.

APPELS, W. M.; BOGAART, P. W.; VAN DER ZEE, S. E. A. T. M. Surface runoff in flat terrain: How field topography and runoff generating processes control hydrological connectivity. **Journal of Hydrology**, v. 534, p. 493–504, 1 mar. 2016.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Quarta edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2020. p. 177-241.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Quarta edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2020. p. 915-943.

BORSELLI, L.; CASSI, P.; TORRI, D. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment. **Catena**, v. 75, n. 3, p. 268–277, 15 nov. 2008.

BRACKEN, L. J., CROKE, J. The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff dominated geomorphic systems. **Hydrological Processes**. Volume 21, fevereiro de 2007. p. 1749–1763.

BRACKEN, L. J., WAINWRIGHT, J., ALI, G.A., TETZLAFF, D., SMITH, M.W., REANEY, S.M., ROY, A.G. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. **Earth Sci. Rev.** 119, 2013. p. 17 - 34.

BRACKEN, L.; TURBBULL, L.; WAINWRIGHT, J.; BOGAART, P. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transport at multiple scales. **Earth Surface Processes and Landforms**. Volume 40. 2015. p. 177-188. Disponível em: DOI: 10.1002/esp.3635.

BRASIL. Lei Federal N.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial** [República Federativa do Brasil], Brasília, 9 jan. 1997.

BRASIL. Lei Federal N.º 9.985, de julho de 2000. institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, estabelece critérios e normas

para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. **Diário Oficial** [República Federativa do Brasil], Brasília, 18 jul. 2000.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. **Area.**, v. 38, p. 165–174, 2006.

CAROLINE, N.; PAULINO, M.; BINKOWSKI, P. Formas de (Re)Organização dos Sistemas Produtivos, Mudanças Sociais e Percepções Ambientais no Distrito de Rincão dos Kroeff. **Revista Gestão & Políticas Públicas**, São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil, 2018, p. 258-277. DOI: 10.11606/rgppv8i2.174801.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CAVALLI, M., TREVISANI, S., COMITI, F., MARCHI, L. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. **Geomorphology**. Volume 188. Abril de 2013. p. 31-41.

Cavalli, M., Crema, S., Marchi, L. Guidelines on the Sediment Connectivity ArcGis 10.1 and 10.2 Toolbox. **CNR-IRPI Padova (PP4)**, Release: 1.1, 2014. 25p. Disponível em: <http://www.sedalp.eu/download/tools.shtml>

CENSI, Guilherme. **Tank Model Modificado para Escoamento e Produção de Sedimentos**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. p. 208.

CHOW, V.T. **Open Channel Hydraulics**. McGraw-Hill, New York. 1959.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia: para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015. p. 336.

COULTHARD, T. J.; VAN DE WIEL, M. J. Modelling long term basin scale sediment connectivity, driven by spatial land use changes. **Geomorphology**, v. 277, p. 265–281, 15 jan. 2017.

CUNHA, H., N. **Avaliação da suscetibilidade à erosão da bacia hidrográfica do Alto Camaquã - RS**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2016. p. 112.

DANTAS, M. E.; VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A., 2010. Origem das Paisagens. In: Viero, A. C.; Silva, D. R. A. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul**. 1ed. Porto Alegre: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 1, p. 35-50.

DA SILVA, G. S. et al. Levantamento fitossociológico do estrato arbustivo regenerante em silvicultura de araucaria *Angustifolia* (bertol.) Kuntze na floresta estacional de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.6, n.2, 2012 p. 113 a 127.

DÜMIG, A. et al. Araucaria forest expansion on grassland in the southern Brazilian highlands as revealed by ^{14}C and $\delta^{13}\text{C}$ studies. **Geoderma**, v. 145, n. 1–2, p. 143–157, 15 maio 2008.

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.

FRESSARD, M.; COSSART, E. A graph theory tool for assessing structural sediment connectivity: Development and application in the Mercurey vineyards (France). **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 2566–2584, 15 fev. 2019.

FOERSTER, S. et al. Assessment of sediment connectivity from vegetation cover and topography using remotely sensed data in a dryland catchment in the Spanish Pyrenees. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, n. 12, p. 1982–2000, 1 dez. 2014.

FORTESA, J. et al. Analysing hydrological and sediment transport regime in two Mediterranean intermittent rivers. **Catena**, v. 196, 1 jan. 2021.

GUIRRO, MEL. OLIVEIRA. **Avaliação da aplicabilidade do modelo geowep na bacia hidrográfica do rio cunha, município rio dos cedros (SC)**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

GPDEN/SEMA- RIO GRANDE DO SUL. **Diagnóstico preliminar**. Porto Alegre: DRH/SEMA, 2017. 26p. Disponível em: <http://www.rs.gov.br/upload/20170125183225diagnostico_preliminar_gt_rolant_e_revfinal.pdf>. 2017.

HECKMANN, T., SCHWANGHART, W. Geomorphic coupling and sediment connectivity in an alpine catchment: Exploring sediment cascades using graph theory. **Geomorphology**. Volume 182, 2013. p. 89 – 103.

HORNBERGER, G. M.; RAFFENSPERGER, J. P.; WIBERG, P. L.; ESHLEMAN, K. N. **Elements of Physical Hydrology**. J. Hopkins, 1998.

HOOKE, J.; SOUZA, J.; MARCHAMALO, M. Evaluation of connectivity indices applied to a Mediterranean agricultural catchment. **Catena**, v. 207, 1 dez. 2021.

JÚNIOR, F. P. et al. **Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia-MG**. Sociedade e Natureza, A.20, N.2. DEZ, 2008.

KRONE, E. E.; MENASCHE, R. A formação da pecuária de corte e da produção tradicional do Queijo Serrano dos Campos de Cima da Serra. In: WAQUIL, Paulo Dabdab et al. (Org.). **Pecuária familiar no Rio Grande do Sul: história, diversidade social e dinâmicas de desenvolvimento**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2020. p. 169-184.

LLENA, M. et al. The effects of land use and topographic changes on sediment connectivity in mountain catchments. **Science of the Total Environment**, v. 660, p. 899–912, 10 abr. 2019.

LINSLEY, R.K.; KOHLER, M.A.; PAULHUS. **Applied hydrology**. Nova Iorque: MacGraw-Hill. 689p, 1949.

LIU, Y.; FU, B. Assessing sedimentological connectivity using WATEM/SEDEM model in a hilly and gully watershed of the Loess Plateau, China. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 259–268, 1 jul. 2016.

LIU, W. et al. Land use and land cover change-induced changes of sediment connectivity and their effects on sediment yield in a catchment on the Loess Plateau in China. **Catena**, v. 207, 1 dez. 2021.

LIZAGA, I. et al. Enhancing Connectivity Index to Assess the Effects of Land Use Changes in a Mediterranean Catchment. **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 3, p. 663–675, 1 mar. 2018.

LOPES THOMAZ, E. Mudanças nas características físicas do topo do solo causadas por erosão laminar, em agricultura de subsistência no sistema de rodízio de terras-Guarapuava-PR. **Geosul**, Florianópolis, v. 22, n. 44, p 67-94, jul./dez. 2007.

MARTINI, L.; CAVALLI, M.; PICCO, L. Predicting sediment connectivity in a mountain basin: A quantitative analysis of the index of connectivity. **Earth Surface Processes and Landforms**, janeiro de 2022. Disponível em: DOI: 10.1002/esp.5331

MARZEN, M. et al. Quantification of particle detachment by rain splash and wind-driven rain splash. **Catena**, v. 127, p. 135–141, 1 abr. 2015.

MERRIAM, G. **Connectivity: a fundamental ecological characteristic of landscape pattern**. In: Brandt J, Agger P. (eds) **Proceedings of first international seminar on methodology in landscape ecology research and planning**. Roskilde Universitessforlag GeoRue, Denmark, pp. 5 -15, 1984.

MISHRA, S. K; SINGH, V. P. SCS-CN Method. Part I: Derivation of SCS-CN-Based Models. **Acta Geophysica Polonica**, 2002. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1969.1/164640>. Acesso em: 16/02/2022.

MISHRA, S. K.; JAIN, M. K.; BABU, P. Suresh; VENUGOPAL, K.; KALIAPPAN, S. **Comparison of AMC-dependent CN-conversion Formulae**. **Water Resources Management**, [S.L.], v. 22, n. 10, p. 1409-1420, 22 jan. 2008. Springer Science and Business Media LLC.

MARTORANO, L. G.; LISBOA, L. S.; VILLA, P.M.; MORAES, J. R. S. **Fragilidade das terras pelo processo erosivo das chuvas em áreas antrópicas e declivosas na Amazônia Legal**. XXXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: Belém, 2017.

MEDEIROS, P. H. A.; DE ARAÚJO, J. C. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, n. 7, p. 1216–1223, 2014.

PANACHUKI, ELÓI. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária**. Tese (Mestrado) no programa de pós-graduação da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. 2003. p.71.

PERSICHILLO, M.G., BORDONI, M., CAVALLI, M., CREMA, S., MEISINA, C. The role of human activities on sediment connectivity of shallow landslides. **Catena**. Volume 160, 2018. p. 261–274. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.09.025>.

PRINGLE C. M. Hydrologic connectivity and the management of biological reserves: a global perspective. **Ecological Applications**. v.11, p. 981 – 998, ago. 2001.

PRINGLE, C. What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important? **Hydrological Processes**, 17, 2003. p. 2685-2689.

RIBEIRO, A. S. et al. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia**. V. 09 N. 01, 2016.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: **Classificação**. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**: Volume 10, n.4 2005.

SILVA, ALEXANDRE MARCO DA; SCHULZ, HARRY EDMAR; CAMARGO, PLÍNIO DE BARBOSA. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 2. ed. Rima, 2007.

SILVA, A. M. da; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. de. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RiMa, 2003. p. 320.

SILVEIRA. A. L. L. da. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Quarta edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2020, p. 35-51.

SILVEIRA. A. L. L.; LOUZADA. J.A.; BELTRAME. L. Infiltração e armazenamento no solo. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Quarta edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2020, p. 335-372.

TUCCI, CARLOS E.M. et al. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Quarta edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2020. p. 943.

TUCCI, CARLOS. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. In: TUCCI, C. E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Quarta edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2020 p. 25-34.

TUCCI, CARLOS. E. M. Interceptação. In: TUCCI, C. E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Quarta edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2020b p. 243-254.

TUCCI, CARLOS. E. M. Escoamento Superficial. In: TUCCI, C. E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Quarta edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2020c p. 391-442.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e Evapotranspiração. In: TUCCI, C. E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Quarta edição. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2020 p. 253-287.

VESTENA, LEANDRO REDIN. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem**. Tese (Doutorado) – Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. p. 313.

WAINWRIGHT, J. et al. Linking environmental régimes, space and time: Interpretations of structural and functional connectivity. **Geomorphology**, v. 126, n. 3–4, p. 387–404, 15 mar. 2011.

WOGL, ELLEN. et al. **Connectivity as an Emergent Property of Geomorphic Systems**. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2018. Disponível em: doi:10.1002/esp.4434. Acesso em: 03/03/2022.

ZANANDREA, F.; KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P. **Conectividade Hidrossedimentológica: uma abordagem conceitual**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XXII, 2017, Florianópolis. Anais...Florianópolis: ABRH, 2017. p. 1 - 8.

ZANANDREA, F. et al. Evaluation of different DTMs in sediment connectivity determination in the Mascarada River Watershed, southern Brazil. **Geomorphology**, v. 332, p. 80–87, 1 maio 2019.

ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M. Impedance influence on the index of sediment connectivity in a forested mountainous catchment. **Geomorphology**, v. 351, 15 fev. 2020.

ZANANDREA, F., PAUL, L.R., MICHEL, G.P., KOBIYAMA, M., ZANINI, A.S., ABATTI, B.H. Conectividade dos sedimentos: conceitos, princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia** 21 (2), 2020. p. 435 - 459. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1754>.

ZANANDREA, F.; PAULO MICHEL, G.; KOBIYAMA, M. **Guidelines on the Hydrosedimentological Connectivity ArcGIS 10.3 Toolbox**. 2021 [s.n.]. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/gpden/>>.

ZANANDREA, FRANCIELE. **Índice de conectividade hidrossedimentológica para bacias montanhosas**. Tese (Doutorado) - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020. p. 142.

ZANANDREA, F. et al. Spatial-temporal assessment of water and sediment connectivity through a modified connectivity index in a subtropical mountainous catchment. **Catena**, v. 204, 1 set. 2021.