

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

A INFLUÊNCIA DOS “SINKS” NA (DES)CONECTIVIDADE ESTRUTURAL E FUNCIONAL DE ÁGUA E SEDIMENTOS EM UMA PEQUENA BACIA NOS CAMPOS DE CIMA DA SERRA/RS

Rodrigo Biz Willig¹ ; Franciele Zanandrea² ; Bruno Henrique Abatti¹ & Gean Paulo Michel¹

Abstract: The connectivity of water and sediments is approached from two distinct perspectives: structural connectivity and functional connectivity. Structural connectivity refers to the potential connection between compartments based on the physical characteristics of the landscape. It can represent the spatial distribution of sediment sources. On the other hand, functional connectivity relates to the processes governing the interaction between these compartments, introducing temporal variability to the phenomenon. Sediment dynamics result from the interaction between structural and functional connectivity. Within the Campos de Cima da Serra region, natural depressions (sinks) are a common landscape feature. Therefore, the objective of this study was to analyze the influence of sinks on the structural and functional connectivity of water and sediments in a small basin located in the Campos de Cima da Serra. Five natural depression regions were identified within a drainage area of less than 1 km². To assess the influence of these structures on connectivity, the IC (Index of Connectivity) was applied for structural connectivity, and the IHC (Hydrosedimentological Connectivity Index) was applied to evaluate functional connectivity. The mapped regions showed a similar average degree of water and sediment connectivity to the overall region's maps. However, it is evident that even in regions with a low degree of connectivity, the natural depressions exert an influence on the dynamics of water and sediments in the area, acting as potential disconnection sites from the basin outlet.

Resumo: A conectividade de água e sedimentos é abordada de duas perspectivas distintas: conectividade estrutural e conectividade funcional. A conectividade estrutural refere-se à conexão potencial entre os compartimentos com base nas características físicas da paisagem. Ela é capaz de representar a distribuição espacial das fontes de sedimentos. Por outro lado, a conectividade funcional diz respeito aos processos que governam a interação entre esses compartimentos, introduzindo uma variabilidade temporal ao fenômeno. A dinâmica dos sedimentos resulta da interação entre a conectividade estrutural e funcional. Dentro dos Campos de Cima da Serra, uma forma de paisagem muito comum de ser encontrada são as depressões naturais (*sinks*). Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência dos sinks na conectividade estrutural e funcional de água e sedimentos em uma pequena bacia localizada nos Campos de Cima da Serra. Foram identificadas 5 regiões de depressão naturais dentro de uma bacia de menos de 1 km² de área de drenagem. Para verificar a influência dessas estruturas na conectividade, realizou-se a aplicação do IC (Índice de Conectividade) para a conectividade estrutural, e a aplicação do IHC (Índice de Conectividade Hidrossedimentológica) para a avaliação da conectividade funcional. As regiões mapeadas apresentaram média próxima para o grau de conectividade de água e sedimento com os mapas da região em geral. Porém, é nítido que, mesmo em regiões de baixo grau de conectividade, as depressões

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rbizw96@gmail.com

2) Universidade Federal Fluminense, francielez@id.uff.br

naturais exercem uma influência na dinâmica de água e sedimentos na região, agindo como locais de potencial desconexão com o exutório da bacia.

Palavras-Chave – Conectividade Estrutural, Conectividade Funcional, *Sinks*.

1. INTRODUÇÃO

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 da dinâmica de água e sedimentos nas bacias hidrográficas. (Hooke *et al.*, 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.

A conectividade de sedimentos é comumente abordada por meio de dois componentes: estrutural e funcional (Bracken e Croke, 2007; Wohl *et al.*, 2018). A conectividade estrutural representa a conexão potencial entre compartimentos com base nas características físicas da paisagem, sendo capaz de representar a distribuição espacial de fontes de sedimentos. Por outro lado, a conectividade funcional refere-se aos processos que regem a interação entre esses compartimentos, atribuindo variabilidade temporal ao fenômeno. A dinâmica de sedimentos resulta da interação entre a conectividade estrutural e funcional.

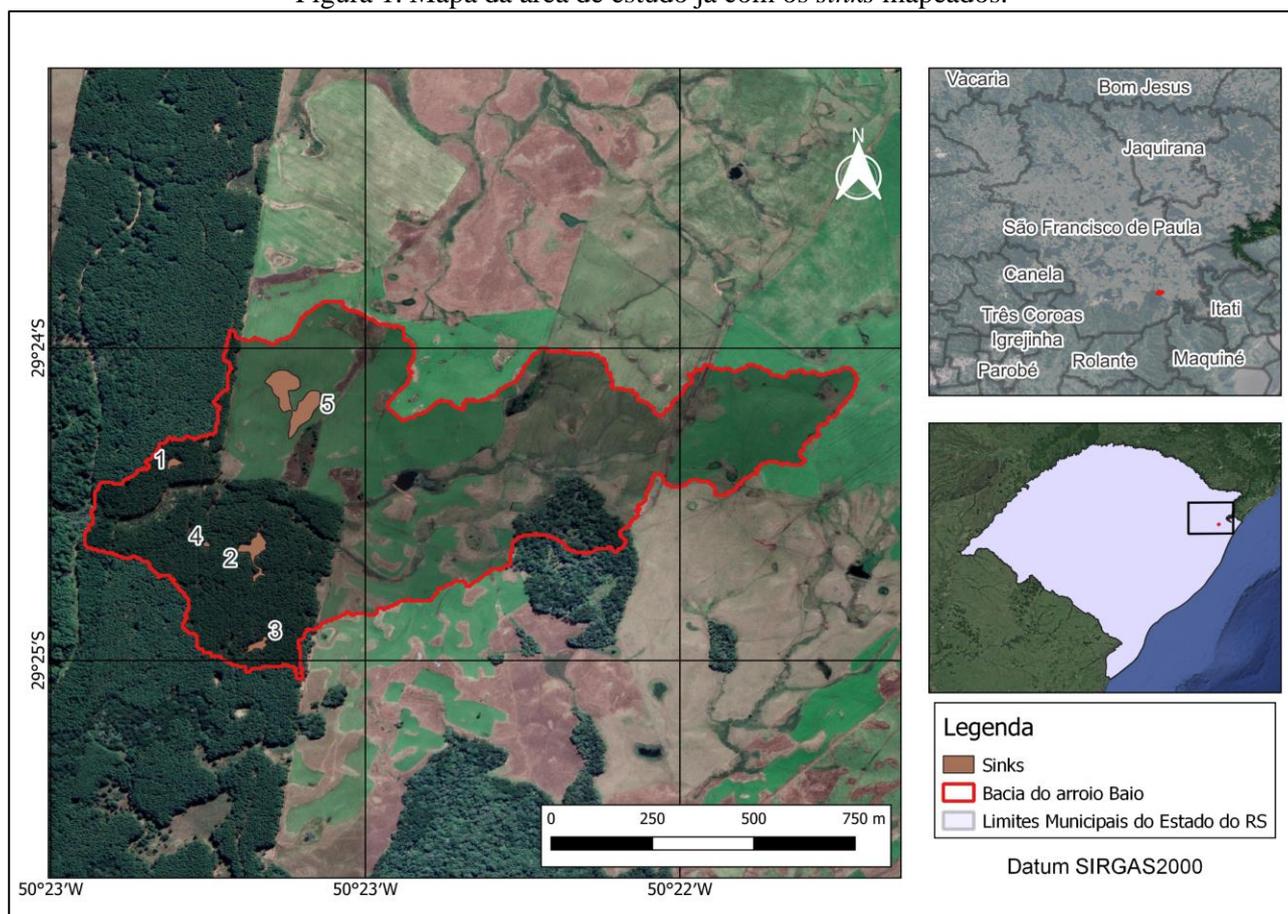
Dentro de uma bacia hidrográfica, diversos elementos podem ocasionar uma região de desconectividade. Na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul, elementos da paisagem natural, que são muito abundantes na região e definem locais de desconexão de sedimentos, são as depressões naturais no terreno ou *sinks* (Abatti, 2022). Dentro da bacia hidrográfica do arroio Baio, é possível observar a influência desses elementos em toda a bacia hidrográfica. Em muitas dessas depressões, pode-se observar a deposição de sedimentos e o acúmulo de água.

Assim, o principal objetivo deste trabalho é investigar a influência dos *sinks* na conectividade estrutural e funcional de água e sedimentos a partir das características hidrogeomorfológicas da bacia hidrográfica do arroio Baio.

2. AREA DE ESTUDO

A área de estudo é a bacia hidrográfica do arroio Baio, localizada na região dos Campos de Cima da Serra, no município de São Francisco de Paula, situado no nordeste do estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil. A bacia hidrográfica (Figura 1) possui aproximadamente 0,89 km² de área de drenagem e está a uma elevação de 948 metros, com uma variação altimétrica de 41 metros e declividades de 0° a 32°. A cobertura do solo é predominantemente composta por campos, florestas de Araucárias em formações isoladas e atividades agrícolas em pequenas propriedades (Dantas *et al.*, 2010). A região também é caracterizada pela presença de matéria orgânica, alto teor de argila e baixa densidade aparente do solo (Dümig *et al.*, 2008), sendo o solo classificado como cambissolo húmico com profundidades de 0,5 a 1 metro (GPDEN/SEMA, 2017). Na Figura 1 é possível observar a localização da área de estudo, bem como as regiões de depressão natural (*sinks*) em destaque.

Figura 1. Mapa da área de estudo já com os *sinks* mapeados.



O uso da terra e a cobertura vegetal da bacia do arroio Baio são atualmente caracterizados por um mosaico de floresta nativa, campos (pastagens), atividades agrícolas (por exemplo, soja, batata, milho), áreas de floresta de Araucárias e uma grande quantidade de espécies exóticas como *Pinnus sp* e *Eucalyptus sp* (Abatti *et al.*, 2021). O local apresenta clima Cfb, de acordo com a classificação do sistema geral de Köppen Geiger, com ocorrência de clima super úmido a úmido, resultando em precipitações com totais elevados (maiores que 150 mm/mês, totalizando precipitação anual maior que 2000 mm) e distribuídas uniformemente ao longo de todos os meses do ano. A temperatura média anual é de 18,5 °C; a mínima absoluta atinge -3 °C no mês mais frio, enquanto a máxima absoluta atinge 27 °C no mês mais quente (Da Silva *et al.*, 2012).

3. MATERIAS E MÉTODOS

A avaliação da influência dos *sinks* na dinâmica de água e sedimentos da bacia hidrográfica do arroio Baio foi realizada a partir de dois principais métodos. Aplicação de índices de conectividade na região, que foram utilizados para representar os elementos estruturais e funcionais dos componentes da paisagem. E através de observações de campo, que foram utilizadas como auxílio tanto para a interpretação dos índices, quanto para a atenção com suas limitações.

3.1. Conectividade Estrutural

A representação da conectividade estrutural foi realizada utilizando o índice de conectividade (IC) proposto por Borselli *et al.* (2008), já considerando as modificações implementadas por Cavalli *et al.* (2013). O IC 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 (Dup), 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 (1). Assim, quanto maior o valor obtido no índice de conectividade, maior o grau de conectividade naquele pixel.

$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right) = \log_{10} \left(\frac{\bar{W}\bar{S}\sqrt{\bar{A}}}{\sum \frac{d_i}{W_i S_i}} \right) \quad (1)$$

onde W é o fator de impedância; S é a declividade (m/m); A é a área de contribuição (m^2); e d é o comprimento do caminho de fluxo de cada pixel (m), sendo o IC adimensional.

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 *et al.*, 2020). Com base no coeficiente de Manning, Zanandrea *et al.* (2020) desenvolveram um novo fator de impedância que preserva a não dimensionalidade do índice, denominada *Relative Smoothness* (RS). O fator é representado pela equação (2), sendo mais aplicado para áreas com cobertura vegetal (e.g. florestas).

$$RS = \frac{n_{min}}{n} \quad (2)$$

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

3.2. Conectividade Funcional

A conectividade funcional foi avaliada utilizando o Índice de Conectividade Hidrossedimentológica (IHC) desenvolvido por Zanandrea *et al.* (2021). O IHC foi desenvolvido tendo como base o índice de conectividade (IC) elaborado por Boselli *et al.* (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.

A ferramenta proporciona estimar a conectividade hidrossedimentológica através dos caminhos de fluxo, ou seja, o potencial conexão dos sedimentos entre as encostas e o exutório da bacia (Zanandrea *et al.*, 2021). 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 (3).

$$IHC = \log_{10} \left(\frac{RS \cdot \bar{S} \cdot Ips \cdot \sum Q_{runoff}}{\sum \frac{d_i}{RS_i S_i}} \right) \quad (3)$$

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 Curva Número CN-SCS (NRCS, 1972). O índice de precipitação para sedimentos (Ips), desenvolvido por Censi (2019), foi acoplado ao cálculo para considerar a quantidade de sedimentos disponíveis para transporte, regulada pela intensidade e volume total de escoamento devido a eventos 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 (4).

$$Ips(n) = \frac{imax_{m-j}}{\sum_{i=1}^j \frac{V_{m-i}}{\Delta t_{m-i}}} \quad (4)$$

onde j é o número de eventos antecedentes utilizado no índice; $I_{\max_{m-j}}$ 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).

3.3. Dados utilizados

Nesta seção se encontra os dados necessários para realizar a aplicação dos índices.

3.3.1. 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 os índices retiram 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.

3.3.2. Monitoramento

Os dados obtidos a partir do monitoramento servem para destacar a resposta da bacia a diferentes eventos de precipitação, considerando assim os aspectos funcionais da conectividade. As variáveis monitoradas foram precipitação e vazão. O monitoramento teve início em julho de 2020 e armazena informações de precipitação e nível de água em intervalos de 5 minutos. Para a precipitação, foi utilizado um sensor automático de pluviômetro (SL2010 P), que utiliza recipientes basculantes para registrar a chuva. O monitoramento da descarga líquido foi realizado por meio da interação entre o sensor de nível de água (SL200NV), que armazena os dados por meio de um micro *data logger*, e uma calha Parshall de concreto que já estava no local. A relação entre o sensor de nível e a calha foi desenvolvida por Abatti (2022).

3.3.3. Impedância e lâmina de escoamento

O valor de impedância do IHC, denominado *Relative Smoothness* (RS) está atrelado as classes de uso do solo. Ainda, Abatti (2022) atribuiu o valor do coeficiente de Manning para cada classe de uso do solo obtidos em uma classificação supervisionada das imagens da região.

Para obtenção da lâmina de escoamento, o IHC utiliza o método da Curva Número (CN-SCS). Para aplicação do método é necessário a definição do tipo do solo e a atribuição dos valores de CN de cada classe de uso do solo. Com o intuito de melhor representar a região, Abatti (2022) 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. Para o processo de definição dos valores de CN, 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. Assim, com os valores de CN definidos, para o evento de interesse, elaborou-se uma matriz de escoamento. A matriz foi calculada através da lâmina d'água em cada pixel (Qrunoff) gerado a partir do evento de análise.

3.3.4. Evento observado

Com base nos dados de precipitação e vazão (nível), foi selecionado o evento com maior precipitação registrada no monitoramento para realizar a aplicação do IHC. Para o Ips do evento foi considerado apenas o acontecimento de um único evento antecedente, que ocorreu dois dias antes do evento analisado. O Ips 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. A Tabela 1 apresenta as características do evento observado para a realização do trabalho.

Tabela 1. Dados observados do evento que foi utilizado na aplicação do IHC.

Data	Chuva acumulada (mm)	Ips
06/07/2020 a 08/07/2020	125,6	12,4

4. RESULTADOS

A influência das depressões naturais (*sinks*) foi avaliada através das informações obtidas da aplicação dos índices de conectividade. Porém, outra fonte de informação válida é analisar como essas estruturas são representadas no MDT adquirido para a região. A Figura 2 e Figura 3 apresentam o perfil topográfico obtido pelo MDT para os *sinks* 1 e 2 respectivamente.

Figura 2. Perfil topográfico do *sink* 1.

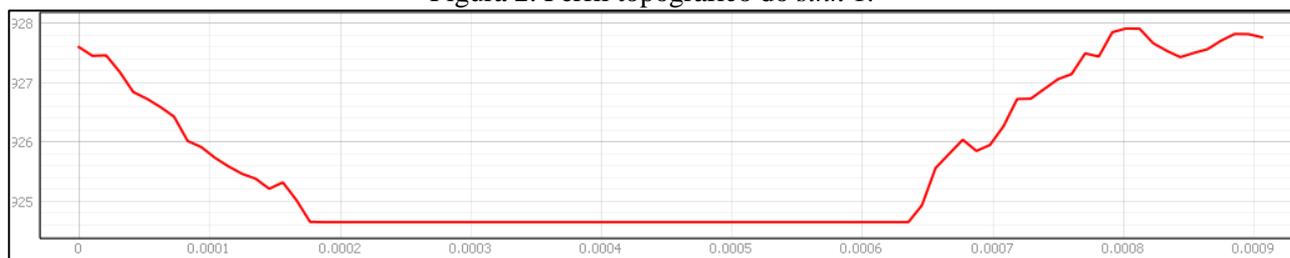
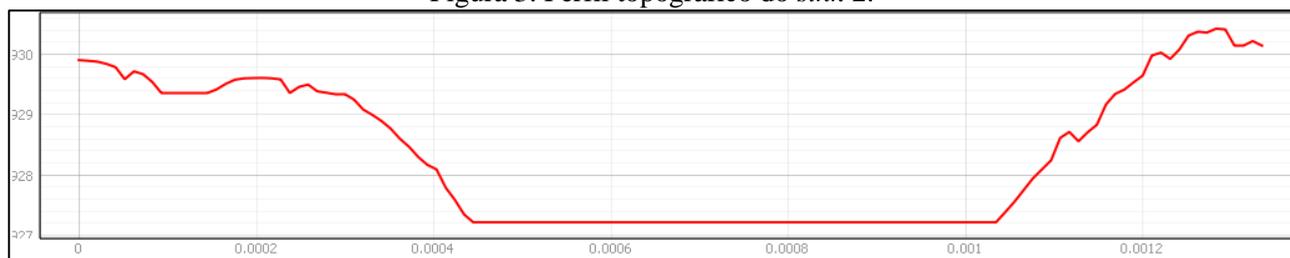


Figura 3. Perfil topográfico do *sink* 2.

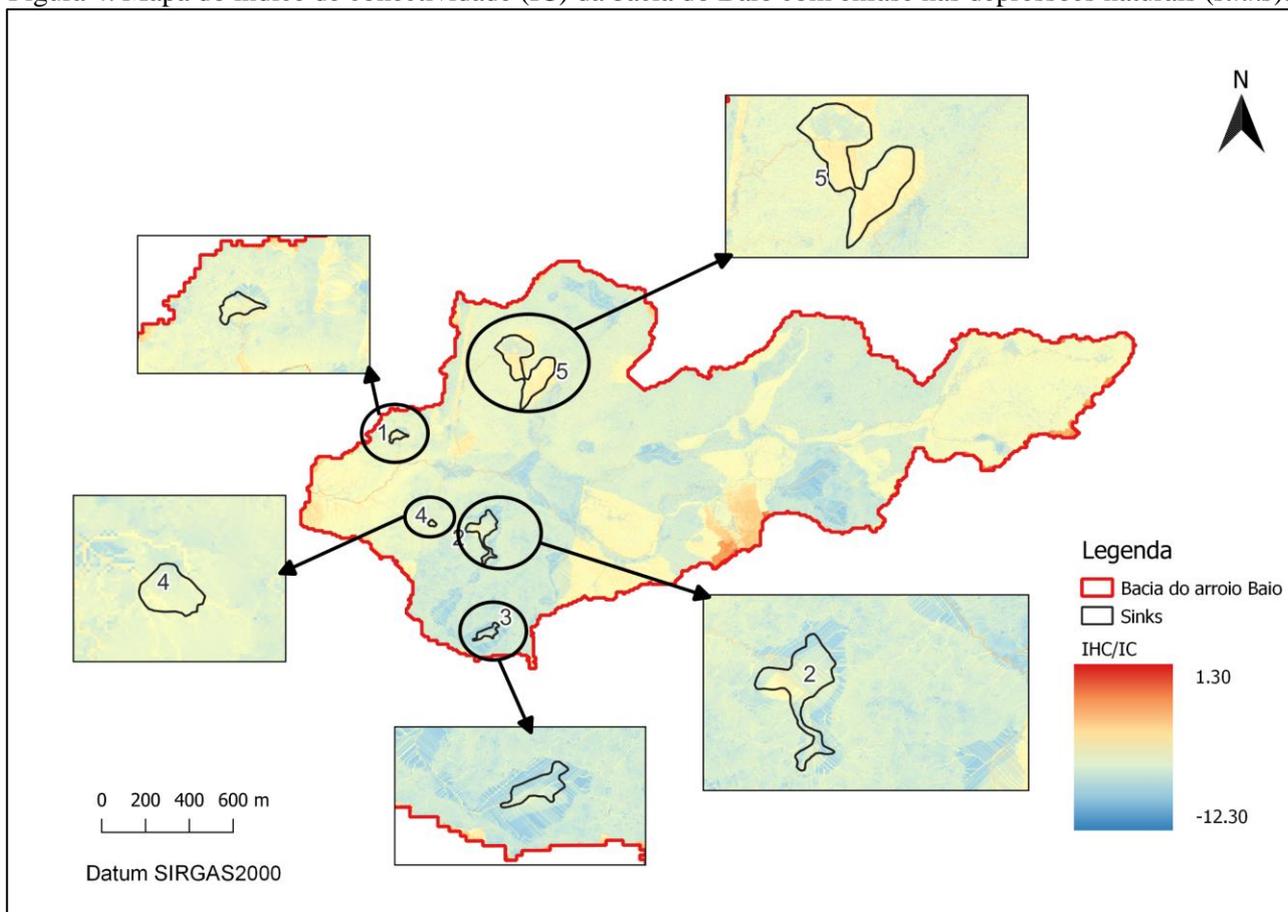


É possível observar que em ambos os perfis se nota uma região de depressão com declividade zero, onde está localizado os *sinks*, na parte central dos perfis. Tal situação não é representativa da região. Atividades de campo foram realizadas e mostram um comportamento diferente nesses locais. Essa incerteza provavelmente está relacionada com o processo de remoção da vegetação na criação do MDT, visto que os *sinks* (Figura 1) se encontram em sua maioria localizados dentro de uma floresta de Pinus, e em suas regiões não possuem vegetação alta.

4.1. Índice de Conectividade (IC)

Através da aplicação do IC para a bacia do Baio, chegou-se a valores que variaram de -10,41 a 1,30 (média -8,91) para o grau de conectividade estrutural da região. A Figura 4 apresenta o mapa do Índice de Conectividade (IC) da bacia hidrográfica do Baio, com a análise realizada para o exutório da região. O mapa apresenta em escala de pixel o grau de conectividade estrutural da região, que está relacionado principalmente com questões de mudança topográfica e de cobertura do solo.

Figura 4. Mapa do índice de conectividade (IC) da bacia do Baio com ênfase nas depressões naturais (*sinks*).

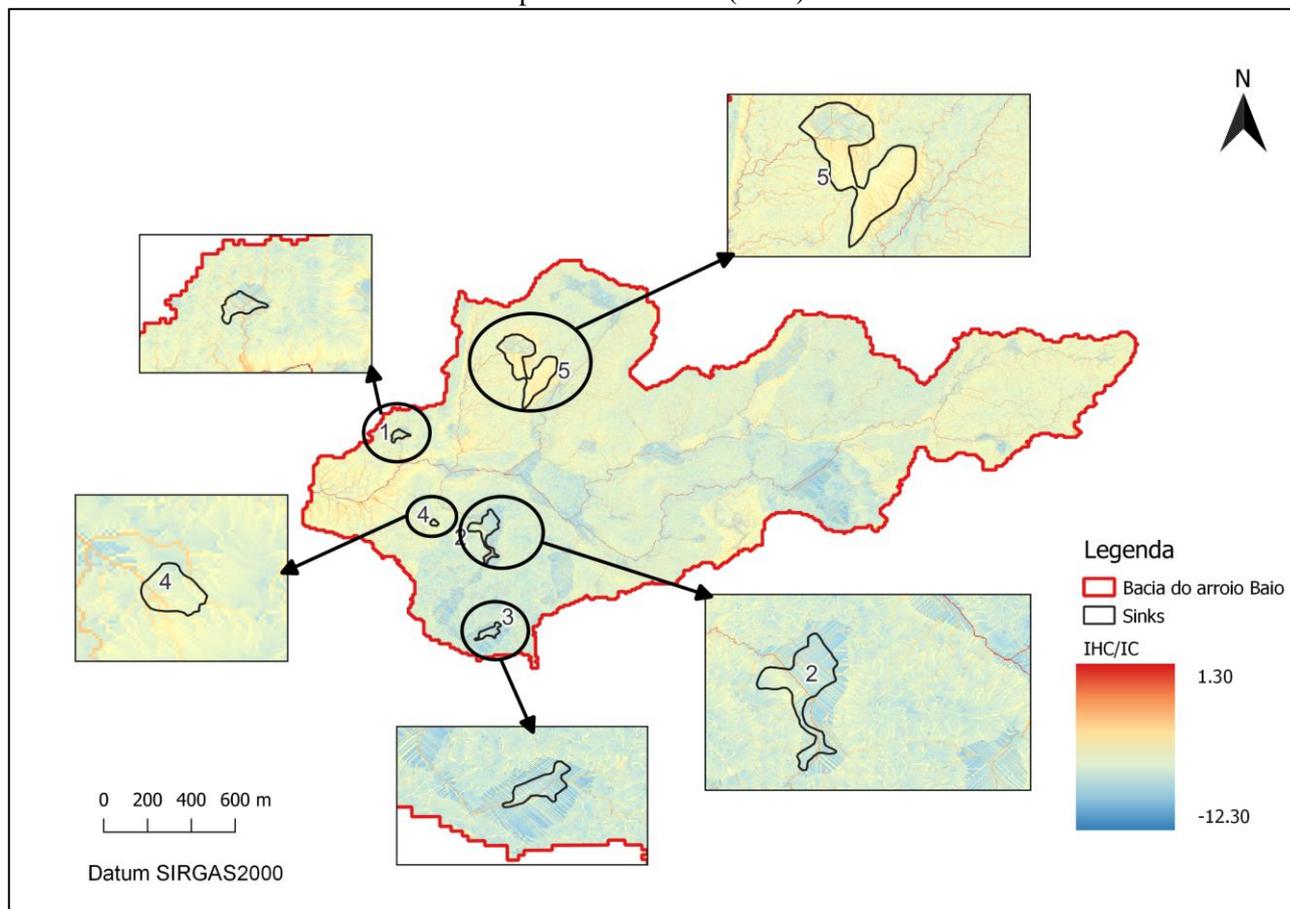


Ao observar o mapa (Figura 4) nota-se que as regiões destacadas (*sinks*), de um modo geral apresentaram valores de conectividade inferiores, pertencendo a regiões azuladas, que estão relacionadas a um baixo grau de conectividade com o exutório da região. Nota-se que o *sink* 5 apresenta uma parcela azul e o restante com coloração amarelada, indicando um grau maior de conectividade. Esse resultado pode indicar que a marcação do *sink* foi realizada de forma inadequada, sendo sua área limitada apenas pela fração azul e não toda a região que foi destacada.

4.2. Índice de Conectividade Hidrossedimentológica (IHC)

Através da aplicação do IHC, se obteve um grau de conectividade hidrossedimentológica que variou de -12,30 a -1,70 (média -8,10). A Figura 5 mostra o mapa em escala de pixel o IHC com a saída para o exutório da bacia do arroio Baio. Vale ressaltar que o IHC representa o grau de conectividade hidrossedimentológica com o exutório da bacia relacionado ao evento analisado (Tabela 1). Nesse caso, por mais que se tenha uma precipitação elevada (125,6 mm), o valor do Ips, que corresponde disponibilidade de sedimentos é baixo. Isso é explicado pela presença de um evento antecedente de alta pluviosidade, que transportou a maioria dos sedimentos que se encontravam disponíveis. Assim, o índice conferiu um grau de conectividade funcional baixo para o evento analisado.

Figura 5. Mapa do índice de conectividade hidrossedimentológica (IHC) da bacia do Baio com ênfase nas depressões naturais (*sinks*).



De modo semelhante ao levantado no mapa do IC (Figura 4), no mapa do IHC (Figura 5) também é possível observar que as regiões destacadas (*sinks*) apresentaram valores inferiores para o grau de conectividade hidrossedimentológica do que as demais regiões, com o exutório da bacia. Novamente, no *sink* 5 é possível observar que sua extensão provavelmente é restrita a região azulada e não todo o polígono que foi selecionado.

4.3. Análise individual dos sinks

Com o objetivo de analisar a influência das depressões naturais (*sinks*) de uma forma mais clara, foi realizado uma análise das características individuais de cada estrutura mapeada na região. A Tabela 2 apresenta as características levantadas de cada um dos *sinks* mapeados.

Tabela 2. características das depressões naturais analisadas (*sinks*).

Sinks	Área (m ²)	Uso do Solo	IC médio	IHC médio
1	703,0	Pinus	-7,77	-8,10
2	3333,6	Pinus	-8.30	-8.61
3	1095,7	Pinus	-8.99	-8.97
4	213,7	Pinus	-7.84	-7.71

Sinks	Área (m ²)	Uso do Solo	IC médio	IHC médio
5	10569,3	Soja	-7.30	-7.35

Observa-se que apenas comparando os valores médios dos mapas de conectividade com os valores médios obtidos em cada um dos sinks, não é possível inferir a influência dessas estruturas na conectividade de água e sedimentos na bacia do arroio Baio. Esse fato é explicado devido a muitas outras estruturas na região apresentarem valores de grau de conectividade baixo, fazendo com que a média de um modo geral dos mapas seja baixa também. Os capões de floresta nativa e a floresta de Pinus são exemplos de regiões que apresentam um grau de conectividade baixo, ou seja, são regiões que tem a propensão a reter água e sedimento na bacia. E como são regiões de alta extensão para o tamanho da bacia, em geral os mapas apresentam um baixo grau de conectividade. Porém, ainda sim é possível observar que as regiões de depressões naturais exercem uma influência sobre a dinâmica de água e sedimento na bacia do arroio Baio, contribuindo para reduzir ainda mais os valores encontrados para o grau de conectividade na região.

5. CONCLUSÕES

Foi analisado a influência das depressões naturais (*sinks*) na conectividade de água e sedimentos de uma pequena bacia localizada nos Campos de Cima da Serra. Os mapas de conectividade apresentaram as regiões destacadas como locais que apresentaram uma menor tendência a gerar água e sedimentos ao exutório da bacia. Os valores encontrados nessas regiões foram próximos a média dos mapas de conectividade, isso é explicado pela presença de diversos elementos na bacia analisada que contribuem para que os mapas de conectividade apresentem um grau baixo de ligação. Outro fator importante é que a maioria dos *sinks* mapeados (exceto o 5) estão presentes na região da floresta de Pinus, que é uma região que já apresenta valores baixos para o grau de conectividade de água e sedimentos. Mesmo assim, é notável nos mapas gerados que as depressões naturais exercem uma influência sobre a conectividade de água e sedimentos na região.

A partir dos resultados preliminares obteve-se a caracterização das estruturas da paisagem, chamadas de sinks, quanto ao seu grau de conectividade de água e sedimento para a bacia hidrográfica do arroio Baio e sua possível influência nessa conectividade. Esse trabalho é um primeiro passo que servirá como base para modelagem da conectividade na região dos Campos de Cima da Serra. Futuros trabalhos serão realizados a fim de investigar ainda mais detalhadamente como estruturas tipo depressões naturais, que são tão comuns na região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra, influenciam na dinâmica de água e sedimento das bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

- ABATTI, B. H., ZANANDREA, F.; PAUL, L. R., MICHEL, G. P. “*Relevance of field data in the assessment of structural and functional sediment connectivity in a small catchment of southern Brazilian plateau*”. Earth Surface Processes and Landforms (online), v. 1, p. 1-16, 2022.
- ABATTI, B.H., ZANANDREA, F., MICHEL, G.P. “*Aplicação de índice de conectividade de campo em uma pequena bacia*”. In: anais do simpósio brasileiro de recursos hídricos, XXIV, 2021. Belo Horizonte – MG: ABRHidro, 2021, p. 1 – 2.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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 14C and $\delta^{13}C$ studies*”. *Geoderma*, v. 145, n. 1–2, p. 143–157, 15 maio 2008.
- HOOKE, J.; SOUZA, J.; MARCHAMALO, M. “*Evaluation of connectivity indices applied to a Mediterranean agricultural catchment*”. *Catena*, v. 207, 1 dez. 2021.
- NATURAL RESOURCE CONSERVATION SERVICE NRCS, (1972). “*Hydrology.*” National engineering handbook, Sec. 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- SEMA/GPDEN. “*Diagnóstico Preliminar: Descritivo dos eventos ocorridos no dia 5 de janeiro de 2017 entre as regiões dos municípios de São Francisco de Paula e Rolante/RS*”. Porto Alegre, RS: Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2017.
- WOHL, ELLEN. et al. “*Connectivity as an Emergent Property of Geomorphic Systems*”. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2018.
- ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M. “*Impedance influence on the index of sediment connectivity in a forested mountainous catchment*”. *Geomorphology*, v. 351, 15 fev. 2020.
- ZANANDREA, F.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M.; CENSI, G.; ABATTI, B.H. “*Spatial-temporal assessment of water and sediment connectivity through a modified connectivity index in a subtropical mountainous catchment*”. *Catena*, v. 204, 1 set. 2021.