

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA ESPACIAL DE BANCOS DE AREIA EM UM TRECHO DE RIO A PARTIR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS

B.H. Abatti¹; M.R. Fagundes¹

Abstract: River sediment dynamics directly influence channel morphology, environmental quality, and the potential for natural resource use. This study evaluates the spatial evolution of sandbars in a section of the Santa Maria River (RS), focusing on their formation, migration, and dissipation processes. The objective was to analyze sandbar dynamics over time using multispectral remote sensing data. A total of 22 PlanetScope images, with 3-meter spatial resolution and acquired between 2016 and 2022, were analyzed. The images were classified using the unsupervised Iso Cluster algorithm to differentiate surface water from sandbars and were cross-referenced with streamflow data. Results revealed significant variation in sandbar areas (ranging from 0.104 to 0.154 km²), with no strong correlation to discharge. A pronounced spatial variability was observed, including events of expansion, splitting, and migration, highlighting zones with differing susceptibilities to sediment deposition and erosion. Spatial patterns indicated localized sediment balance conditions, likely influenced by upstream and downstream anthropogenic activities such as agriculture and sand mining. The findings demonstrate that multispectral imagery is an effective tool for detecting fluvial morphological trends and supports its application in environmental monitoring and river management.

Resumo: A dinâmica hidrossedimentológica de rios influencia diretamente sua morfologia, qualidade ambiental e potencial de exploração de recursos naturais. Nesse contexto, o presente estudo avaliou a evolução espacial de bancos de areia em um trecho do rio Santa Maria (RS), considerando seus processos de formação, migração e dissipaçāo. Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi analisar a dinâmica dos bancos de areia ao longo do tempo, utilizando produtos de sensoriamento remoto multiespectral. A metodologia consistiu na análise de 22 imagens PlanetScope, com resolução de 3 metros, coletadas entre 2016 e 2022. As imagens foram classificadas por meio do algoritmo não supervisionado Iso Cluster, distinguindo água superficial e bancos de areia, e correlacionadas a dados de vazão fluviométrica. Os resultados mostraram variações expressivas na área dos bancos (0,104 a 0,154 km²), com ausência de correlação significativa com as vazões. Observou-se intensa dinâmica espacial, incluindo eventos de aumento, divisão e migração dos bancos, com destaque para regiões suscetíveis tanto à deposição quanto à dissipaçāo de sedimentos. A análise espacial identificou subtrechos com padrões distintos de equilíbrio sedimentar, sugerindo influência de fatores antrópicos a montante e a jusante do canal, como práticas agrícolas e extração mineral. Conclui-se que o uso de imagens multiespectrais é eficaz na identificação de tendências morfológicas fluviais, sendo uma ferramenta promissora para o monitoramento ambiental.

Palavras-Chave – Imagens Multispectrais, Iso Cluster, Bancos de Areia.

1) Grupo de Pesquisas em Desastres Naturais, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

INTRODUÇÃO

Um banco de areia consiste no acúmulo de sedimentos (areia e cascalho) depositados no leito do rio, de suas margens ou ao longo da costa. Esses bancos são importantes sistemas geomorfológicos que controlam a dinâmica hidráulica e biológica dos canais. Alterações nas condições naturais desses elementos podem distorcer o equilíbrio do sistema fluvial, resultando em erosões desproporcionais das margens do rio, degradação do leito e deterioração da qualidade da água.

A expansão das necessidades direcionadas ao desenvolvimento econômico da sociedade impõem cada vez mais demandas em relação aos recursos naturais. Posto isso, a comunidade técnico-científica se esforça em desenvolver métodos que delimitem limiares de execução para se alcançar sustentabilidade no desenvolvimento dessas atividades. Definir os limites das atividades exploratórias de recursos naturais é um grande desafio, associado a dois principais problemas: a falta de informações e a pouca compreensão dos processos que governam o sistema e suas interações.

Nesse contexto, a extração de areia é uma das atividades mais controversas da atualidade, visto que possui significativo impacto ambiental (Padmalal e Maya, 2014) ao mesmo tempo que desempenha importante papel econômico (Santos, 2008). Atualmente, não é cogitada a redução da atividade, visto que é um dos principais insumos da construção civil (Texier, 2001). No Brasil, o consumo de areia é da ordem de 1,8 toneladas/hab/ano, sendo que 90% dessa areia é extraída do leito dos rios (Santos e Stevaux, 2010).

Além da sua importância econômica, a areia possui grande importância na manutenção do ecossistema dos rios e planícies. O papel ambiental fica, especialmente, na manutenção do ecossistema, desde o fornecimento de substrato para alguns organismos até o armazenamento de água para manter o escoamento de base nos rios (Padmalal e Maya, 2014). Quantificar e representar a dinâmica desse sistema, assim como prever os impactos oriundos de intervenções, são etapas fundamentais para regularização ou não de atividades que buscam explorar esse tipo de material. Isto é, o desconhecimento da dinâmica do sistema, inibe a atuação de órgãos responsáveis nas atividades de licenciamento, regularização e fiscalização (Moura, 2016).

Devido às complexas condições dinâmicas, os processos de evolução da morfologia dos rios apresentam significativa não linearidade. Assim, esse trabalho tem como objetivo avaliar os processos de evolução dos bancos de areia em um trecho do rio Santa Maria, considerando as tendências de aumento, divisão, migração e dissipação dos bancos a partir de produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.

METODOLOGIA

A avaliação da dinâmica de bancos de areia foi realizada de maneira qualitativa, considerando uma série temporal de produtos de SR das imagens ortorretificadas multiespectrais de 4 bandas do *PlanetScope*. De maneira geral, o estudo se baseou em três principais pontos: i) delimitação dos bancos a partir de técnicas de SR; ii) observação de gradientes e suscetibilidade do sistema a mudanças por eventos e; iii) avaliação das tendências de aumento, divisão, migração e dissipação dos bancos de areia.

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Santa Maria é localizada no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29°47' a 31°36' S e 54°00' a 55°32' W, tendo área de contribuição de aproximadamente 15.000 km². Em termos climáticos, a área que compreende a bacia caracteriza-se por ser subtropical pouco/medianamente úmido com precipitações variando entre 1.500 - 1.700 mm/ano e temperatura média anual de 17 a 20°C.

A área de interesse é um trecho do rio Santa Maria, localizado no município de Dom Pedrito (RS), de aproximadamente 2,98 km, o qual vem constantemente sendo sondado para extração de areia. A Figura 1 apresenta o trecho avaliado.

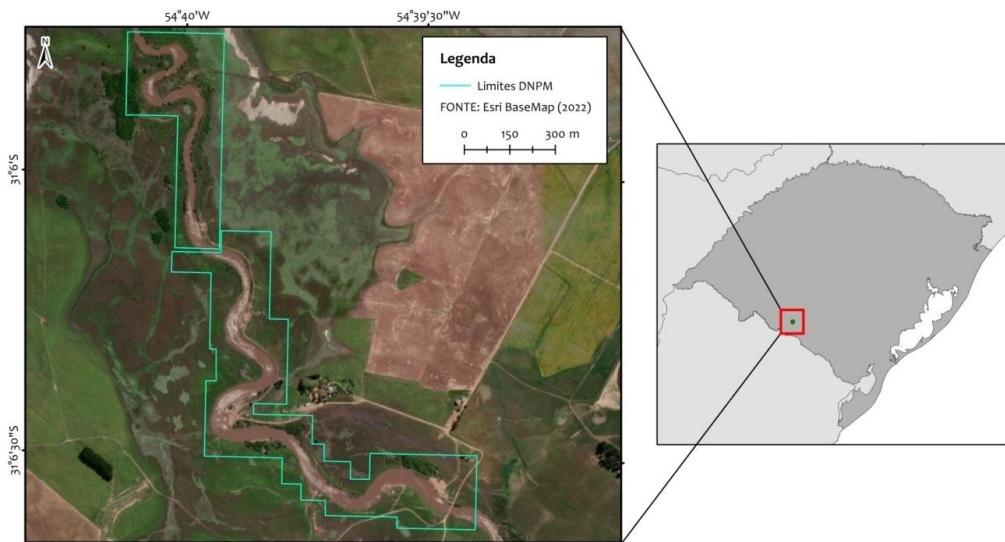


Figura 1. Localização do trecho de interesse do rio Santa Maria - RS.

Seleção das imagens

As imagens multiespectrais foram disponibilizadas pela *Planet* no formato *Anlytic PlanetScope Ortho Scenes*. As imagens da coleção *PlanetScope* possuem uma resolução espacial de aproximadamente 3m, com bandas espectrais *Blue* (455-515 nm), *Green* (500-590 nm), *Red* (590-670 nm) e *NIR* (780-860 nm).

O período utilizado para seleção de todas as cenas foi de 8 anos, com início em janeiro de 2016 e final em abril de 2022. Dois principais critérios foram utilizados para a definição de quais imagens seriam utilizadas. O primeiro foi de acordo com a cobertura de nuvens, no qual apenas imagens com cobertura de nuvens menores que 10% foram consideradas. Posteriormente, foram consideradas apenas imagens que apresentaram período de vazões mínimas (limiar de $> 10 \text{ m}^3/\text{s}$). O critério se baseando na variável hidrológica foi utilizado para que as imagens tivessem exposto as mesmas regiões em todas as cenas, possibilitando uma avaliação mais assertiva da variação espacial dos bancos de areia. A Figura 2 exibe as etapas de classificação e seleção das imagens.

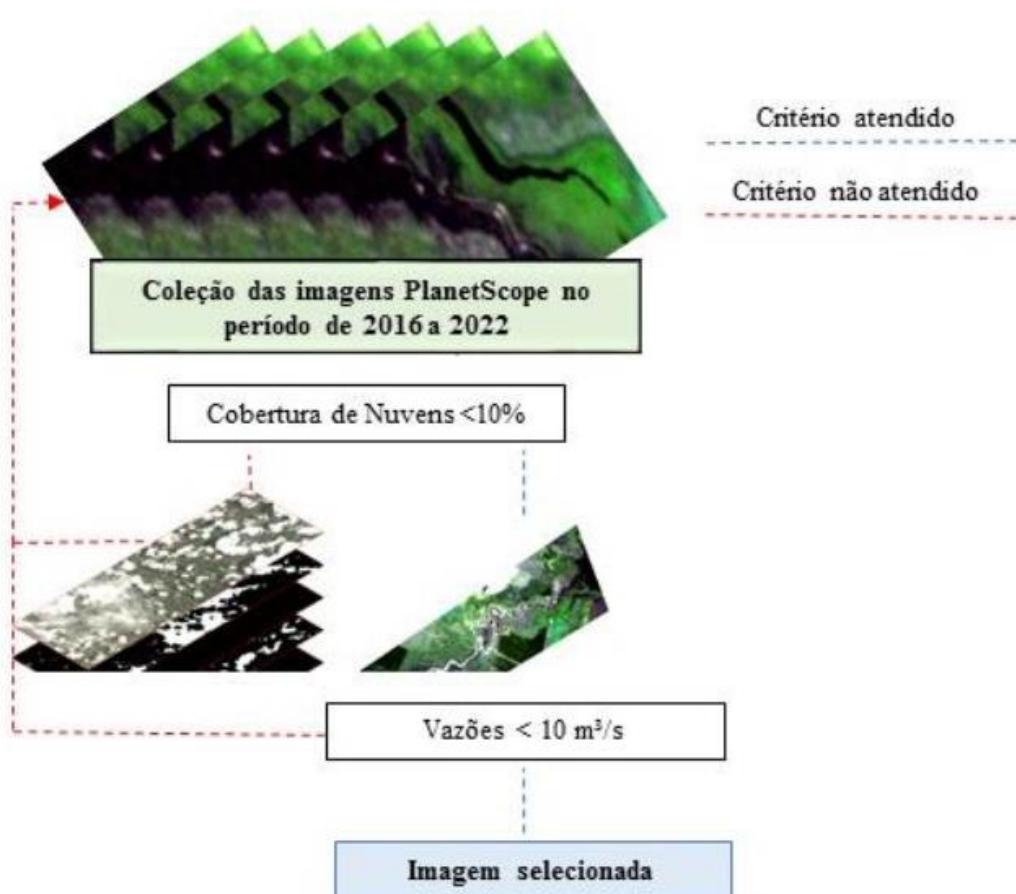


Figura 2. Etapas para seleção das cenas utilizadas.

Identificação e Classificação dos Bancos de Areia

A classificação das imagens foi realizada a partir da definição de classes espectrais. Nesse caso se utilizou o método não supervisionado denominado Iso Cluster (Iso = *Iterative Self-Organizing*). De maneira geral, o objetivo principal da classificação não supervisionada é agrupar automaticamente os pixels de uma imagem de sensoriamento remoto em grupos de caráter espectral semelhante. Dessa maneira, a classificação é feita a partir de um *clustering*, onde os dados são agrupados a partir da maior similaridade existente de acordo com critérios pré-determinados. No caso das imagens multiespectrais, as classes de pixels são criadas com base em suas assinaturas espectrais compartilhadas. Como o interesse desse trabalho foi distinguir água superficial dos bancos de areia existentes em cada cena, definiram-se duas classes para agrupar os pixels, sendo elas, 1 – Água superficial e 2 – Bancos de Areia. Além disso, para que fossem evitados ruídos ao longo da classificação, considerou-se apenas a área do trecho do canal de interesse presente na imagem selecionada.

Avaliação de Tendências ao Longo do Trecho

Para a avaliação qualitativa das tendências de mudança no trecho do rio Santa Maria, para cada cena foram determinadas: i. área total dos bancos; ii. tendências de aumento, divisão, migração e dissipação; e iii. identificação das regiões mais sensíveis aos eventos observados. A Figura 3 ilustra as tendências a serem avaliadas em cada uma das cenas selecionadas.

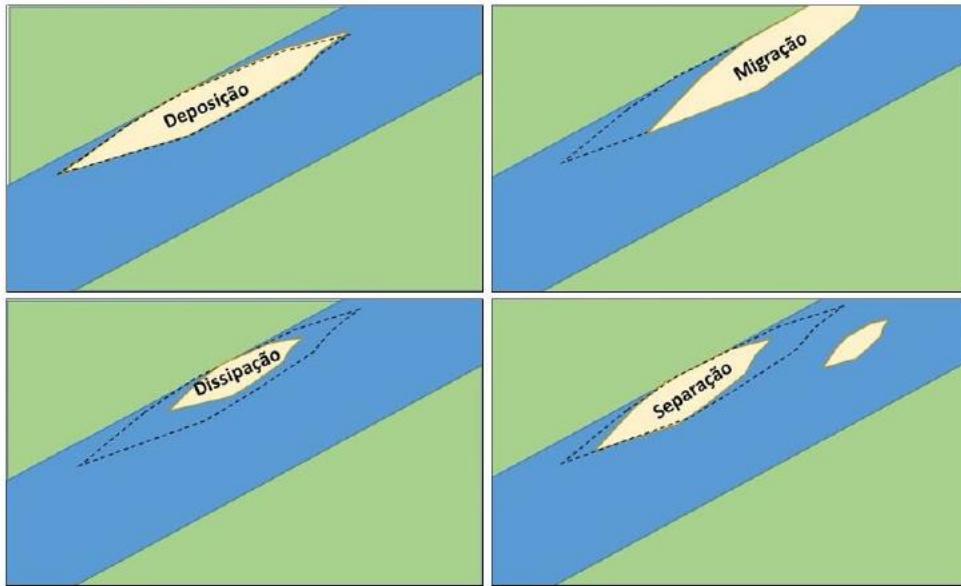


Figura 3. Processos gerais de evolução de bancos de areia.

Os processos de desagregação, transporte e deposição são governados pela energia do fluxo do canal. O processo de deposição ocorre em momentos em que a competência do canal se torna insuficiente para transportar os sedimentos. Em contrapartida, processos de dissipação, migração e separação são resultado de eventos hidrológicos de maior magnitude que possuem energia suficiente para desagregar e transportar material ao longo de um trecho.

Posto isso, também se verificou a relação entre as alterações na área total dos bancos de areia e as vazões observadas no período avaliado. Os dados de vazão são referentes à estação fluviométrica Dom Pedrito (código 76251000) e estão disponíveis para download no portal Hidroweb, pertencente à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classificação das Cenas

A partir dos critérios determinados para aquisição das imagens, obteve-se 22 cenas distribuídas ao longo de 2016 a 2022. Destaca-se que uma grande coleção de imagens está disponível para o local nesse período, contudo se apresentavam em momentos em que o fluxo, possivelmente, cobria os bancos de areia. Ainda assim, imagens a partir de maio de 2021 não foram comparadas com os dados de vazões observados devido a falha no monitoramento do posto fluviométrico da estação de Dom Pedrito, tendo sido selecionadas a partir da semelhança do fluxo preferencial no canal com imagens anteriores. A Figura 4 exibe exemplos das imagens adquiridas ao longo do tempo no trecho de estudo.

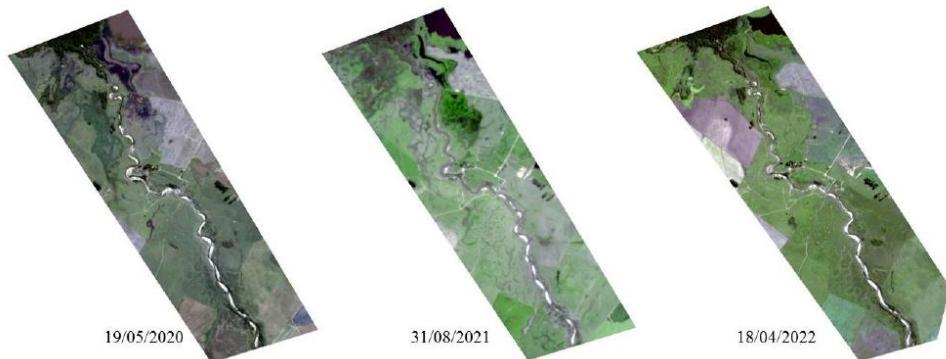


Figura 4. Exemplos de imagens do PlanetScope selecionadas.

Os resultados obtidos pela classificação não supervisionada Iso Cluster foram satisfatórios. A partir da resolução espacial das imagens do PlanetScope pode se obter uma classificação detalhada mesmo para um canal com seção transversal de aproximadamente 40 metros. Os principais erros presentes na classificação ocorreram no limiar entre os bancos de areia e suas margens.

O mapeamento dos bancos de areia a partir do método automático foi capaz de produzir mapas de distribuição espacial de sedimentos. Considerando que esse é um ambiente que apresenta grande variabilidade temporal (Fernandes, 2009), os mapas se apresentam como uma base de dados fundamental para avaliação da entrega e retenção de sedimentos no canal. Além disso, esses mapeamentos podem ser utilizados como complementação à calibração e/ou validação de modelos que buscam representar a evolução fluvial (Santos et al., 2019). A Figura 5 demonstra o resumo dos resultados obtidos a partir da classificação não supervisionada.

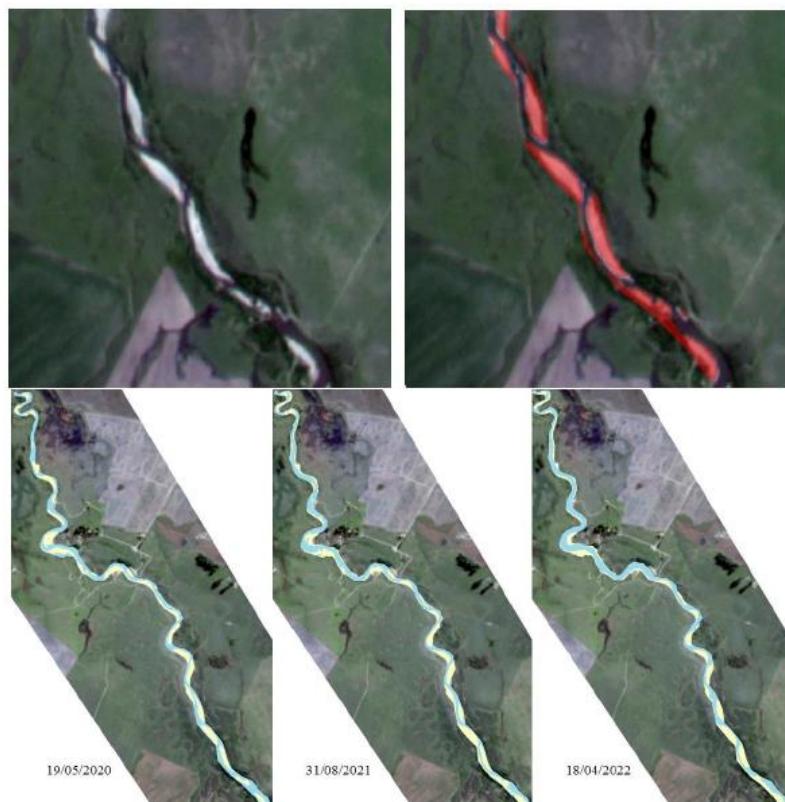


Figura 5. Resumo da classificação dos bancos de areia no trecho de interesse a partir do método Iso Cluster.

Tendência e Evolução dos Bancos de Areia

A variabilidade da área superficial de areia em relação ao canal apresentou variabilidade significativa ao longo das cenas observadas. A área total mínima dos bancos de areia foi de (0,104 km²), em janeiro de 2022, e a máxima foi de (0,154 km²) registrado em dezembro de 2017. Quando avaliada a relação das áreas com as vazões médias anuais e com a vazão de pico do evento anterior da cena considerada, não se encontrou qualquer associação significativa entre as áreas dos bancos de areia e as variáveis hidrológicas. Nos trabalhos desenvolvidos por Gonçalves et al. (2017) e Morais (2018) foram encontradas correlações significativas entre as variáveis hidrológicas e a evolução dos bancos.

A dinâmica de sedimentos em um canal não é apenas influenciada pelas mudanças climáticas, tipo de solo e regime hidrológico, mas também depende das atividades antrópicas, como intervenções ao longo do canal, construções de barramentos e alterações de uso do solo (Li et al., 2007; Roy e Sauh, 2016; Surian et al., 2011). Dessa maneira, acredita-se que as alterações no trecho do rio Santa Maria são especialmente governadas pelas interferências a montante (e.g. maior entrega de sedimento pela agricultura) e/ou a jusante do trecho (e. g. remoção de bancos de areia). A Tabela 1 exibe a variabilidade de área superficial total de bancos de areia ao longo do tempo no trecho estudado.

Tabela 1. Área total dos bancos de areia em cada cena selecionada.

Data	Área total dos bancos de areia (km ²)	Área superficial de areia em relação ao rio (%)	Vazão observada (m ³ /s)
17/12/2016	0,096	35%	5,170
31/12/2017	0,154	57%	4,700
16/04/2018	0,115	42%	8,188
30/12/2019	0,106	39%	5,700
19/05/2020	0,116	43%	4,280
03/06/2020	0,107	40%	8,770
20/08/2020	0,120	44%	5,866
09/10/2020	0,133	49%	9,537
15/01/2021	0,149	55%	5,260
13/03/2021	0,136	50%	6,873
30/04/2021	0,120	44%	6,292
26/05/2021	0,127	47%	-
31/08/2021	0,109	40%	-
20/10/2021	0,122	45%	-
01/11/2021	0,126	47%	-
24/11/2021	0,117	43%	-
11/12/2021	0,108	40%	-
28/01/2022	0,104	38%	-
24/02/2022	0,106	38%	-
29/03/2022	0,134	49%	-
01/04/2022	0,138	51%	-
18/04/2022	0,127	47%	-

Percebe-se que ocorre uma variação de acréscimo e decréscimo de área total superficial de bancos de areia ao longo do tempo, demonstrado na Figura 6. Essa variação exibe a dinâmica de equilíbrio que o canal busca estabelecer na entrega e retenção de sedimentos ao longo do tempo. A dinâmica dos bancos é produzida por três tipos de processos: agradação (acumulação de material), degradação (retirada ou movimentação de material) e transformação no local (alteração das características dos materiais ou sua movimentação).

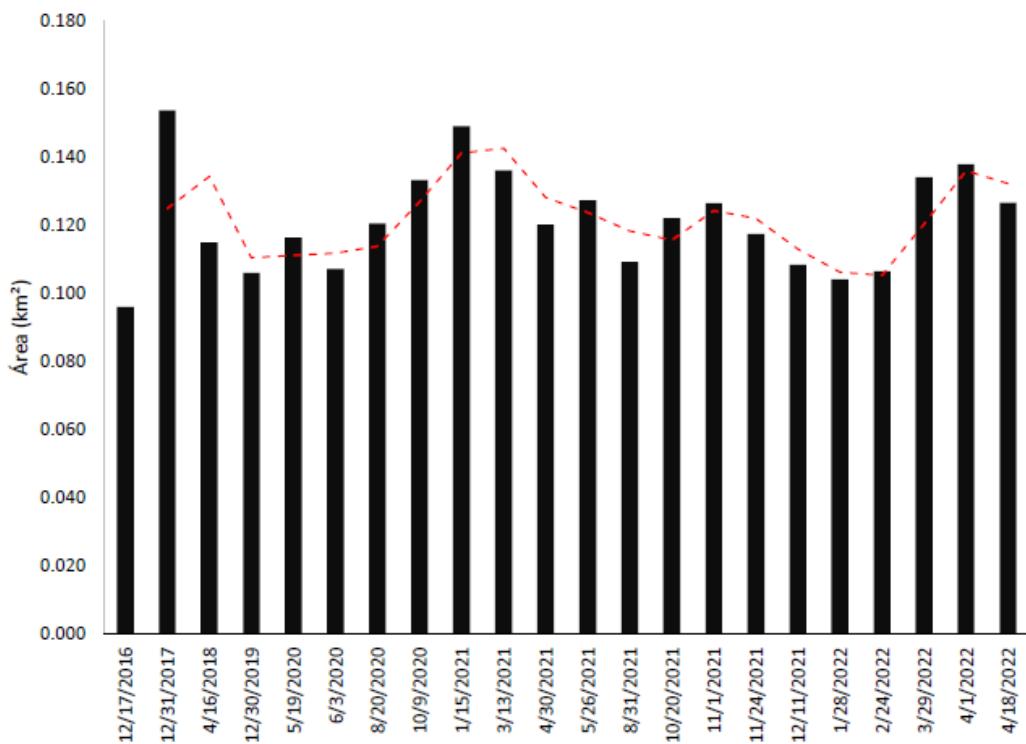


Figura 6. Variação da área total de bancos de areia em cada cena selecionada.

Em um cenário em que o canal esteja fora de equilíbrio, quando o fluxo possui capacidade e competência para o transporte de sedimentos o processo de degradação ocorre. Quando o fluxo do canal não é mais capaz de carregar os sedimentos, o transporte é limitado e ocorre a deposição de sedimentos no trecho. A partir das cenas selecionadas é possível observar essa dinâmica ocorrendo de maneira concomitante em determinados subtrechos, exibindo trechos com maior suscetibilidade a entrega de sedimento e outros com maior potencial de retenção (Figura 7 e Figura 8).

As dinâmicas de variação da área superficial dos bancos de areia determinados são semelhantes aos encontrados nos trabalhos desenvolvidos por Morais (2018) e Gonçalves et al. (2016). Ambos os autores justificam a variação como resultado do regime fluviométrico. Contudo, essa relação não foi encontrada nesse estudo. Dessa maneira, considera-se que os processos hidrossedimentológicos sucedidos em cada um dos casos são diferentes, especialmente referente a fonte de sedimentos analisada. Nesse caso, acredita-se que a entrega de sedimentos das áreas agricultáveis à montante do trecho analisado possui importante papel na formação dos bancos. Outra questão a ser destacada é a escala de análise, nesse estudo um trecho pequeno foi considerado (2,98 km). Assim, a dinâmica de bancos de areia em pequenos canais possui maior sensibilidade a ações externas ao regime fluvial.

A evolução temporal de determinados subtrechos evidencia a dinâmica de equilíbrio descrita por Yang (1972). No trecho mais a montante é possível observar que há um processo de dissipação dos bancos de areia no período de dezembro de 2017 a junho de 2020. Ao mesmo tempo, é possível perceber o processo de deposição ocorrendo no período de abril de 2022. A Figura 7 exibe a dinâmica de dissipação e deposição ocorrida no subtrecho mais a montante da área de interesse.



Figura 7. Processo de dissipação e deposição no trecho.

O subtrecho mais a jusante apresenta principalmente o processo de separação dos bancos e, consequentemente, a migração do material para outros subtrechos. O processo de separação e migração é especialmente observado no período de abril de 2018 a novembro de 2021, como demonstrado na Figura 8.



Figura 8. Dinâmica de separação e migração no trecho.

De maneira geral, são necessárias observações mais profundadas para se afirmar que as dinâmicas dos bancos de areia no trecho do rio Santa Maria podem ser utilizadas como proxies de alterações no uso do solo à montante ou interferências ao longo do trecho à jusante. Contudo, a aplicabilidade das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento se demonstraram capazes de identificar tendências dos processos hidrossedimentológicos ocorridos no canal.

CONCLUSÕES

A compreensão do comportamento dos bancos de areia, sua relação com alterações na paisagem e seu possível uso como proxies hidroclimáticos se demonstrou como um desafio em pequenos trechos. É necessária uma ampliação da resolução espacial e temporal das observações, assim como a consideração de dados sedimentológicos de forma a aprimorar a compreensão do comportamento dos bancos de areia e seus mecanismos de formação. Analisar quantitativamente o impacto das mudanças do uso do solo e as tendências das alterações comportamentais dos bancos de areia demanda um monitoramento robusto, combinando informações das imagens multiespectrais e cargas de sedimentos.

Por fim, considera-se que os produtos gerados a partir de sensoriamento remoto e geoprocessamento possuem grande capacidade de auxiliar estudos envolvendo a dinâmica hidrossedimentológica de pequenos trechos. Ainda mais considerando a capacidade de processamento em larga escala e temporal e espacial das imagens disponibilizadas pela Planetscope.

Agradecimentos – Os autores desse trabalho agradecem ao CNPq pelas bolsas de pesquisa concedidas.

Referências

- D. N. SANTOS. Alterações de longa duração na dinâmica hidrossedimentar por extração de areia no alto curso do rio paraná na região de porto rico, pr. São Paulo, UNESP, (Dissertação de Mestrado). 2008.
- D. N. SANTOS, J. C. STEVAUX, alterações de longa duração na dinâmica Hidrossedimentar por extração de areia no alto Curso do rio paraná na região de porto rico, PR. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 29, n. 4, p. 603-612, 2010.
- FERNANDES, R.D. Formação e Evolução dos Bancos de Areia da Foz do Rio Amazonas / Rodrigo Duarte Fernandes. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010. XV, 113 p.: il.; 29,7 cm. Orientador: Susana Beatriz Vinzón Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Oceânica, 2009.
- LI, L., LU, X., & CHEN, Z. River channel change during the last 50 years in the middle Yangtze River, the Jianli reach. *Geomorphology*, 85(3e4), 185e196. 2007.
- ROY, S., & SAHU, A. S. Effect of land cover on channel form adjustment of headwater streams in a lateritic belt of West Bengal (India). *International Soil and Water Conservation Research*, 4(4), 267e277. 2016.
- PADMALAL K, MAYA, D. PADMALAL K. **Sand Mining**: environmental impacts and selected case studies. Springer, 2014.
- SANTOS, M.G.M.; HARTLEY, A.J.; MOUNTNEY, N.P.; PEAKALL, J.; OWEN, A.; MERINO, E.R.; ASSINE, M.L. Meandering rivers in modern desert basins: implications for channel planform controls and prevegetation rivers. *Sedimentary Geology*, [S.L.], v. 385, p. 1-14, maio 2019.
- SURIAN, N., RINALDI, M., & PELLEGRINI, L. Channel adjustments and implications for river management and restoration. *Geografia Física e Dinâmica Quaternária*, 34(1), 145e152. 2011.
- MORAIS, R.S.O. Análise da geomorfologia fluvial do sistema Araguaia-Javaés a partir de sensoriamento remoto. Porto Alegre, UFRGS (Trabalho de Conclusão de Curso). 2018.
- YANG, C.T. Unit stream power and sediment transport. *J. Hydraul. Div., A.S.C.E.*, Proc. Pap. 9295, 98(HY10): 1805—1826. 1972.