

APLICAÇÃO DO *GOOGLE EARTH ENGINE* (GEE) PARA A OBTENÇÃO DE DADOS DE CALIBRAÇÃO DE MODELOS HIDROSSEDIMENTOLÓGICOS DE GRANDE ESCALA

*Renata Barão Rossoni*¹; *Fernando Mainardi Fan*² & *Leonardo Laipelt*³

ABSTRACT – A limiting factor in large-scale hydrosedimentological modeling is the lack of continuous observed data for model calibration and validation. Therefore, remote sensing imagery is a useful technique that allows to complement the observed data and improve the suspended sediment concentration information along large-scale catchments. The present work aims to develop a methodology to obtain red reflectance from remote sensing imagery to support large-scale hydrosedimentological modeling and catchment characterization, using the cloud-based platform Google Earth Engine. Preliminary results show that when there is a model improvement due to model calibration using observed data from sedimentometric gauge stations, there are an improvement in the correlation between model results and remote sensing information. This shows the potential of the data obtained from this methodology to support large-scale hydrosedimentological modeling.

Palavras-Chave – Sensoriamento Remoto, Modelagem Hidrossedimentológica, MGB-SED

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, renata.rossoni@ufrgs.br, (51) 998872363

2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, fernando.fan@ufrgs.br

3) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, leolaipelt@hotmail.com

1 - INTRODUÇÃO

Um fator limitante na modelagem hidrossedimentológica de grande escala é a falta de dados observados contínuos para calibração e validação de modelos. Frequentemente, a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) observada é obtida em campo, utilizando equipamentos de coleta (Umar *et al.* 2018) e/ou utilizando métodos acústicos (Guerrero *et al.* 2016). Ambas metodologias demandam suporte técnico especializado, tempo significativo de coleta e medição de campo, análises laboratoriais e investimento financeiro, que podem acarretar uma baixa frequência de aquisição de dados observados de CSS em grande escala. Assim, o sensoriamento remoto é uma técnica que permite a complementação dos dados observados e melhorias nas informações de CSS em bacias de grande escala (Fagundes *et al.* 2020), proporcionando um aumento na disponibilidade de dados em diferentes escalas temporais e espaciais, justificando seu uso na calibração e validação de modelos.

Nos últimos 40 anos, tem sido realizadas pesquisas para correlacionar informações obtidas de sensoriamento remoto com concentração de sedimentos em suspensão (Curran *et al.* 1987; Ritchie *et al.* 1987; Novo *et al.* 1989; Martinez *et al.* 2009; Umar *et al.* 2018; Fassoni-Andrade e Paiva, 2019). Apesar de ser possível utilizar uma variedade de informações, como valor do pixel e radiância espectral (Curran *et al.* 1987), a reflectância permitiu o uso direto das imagens, sem necessidade de correções, e especificamente a banda vermelha apresentou um dos maiores valores de correlação com CSS (Ritchie *et al.* 1987). Em Dekker *et al.* (2002), foi desenvolvido um modelo empírico para estimar a CSS. Potes *et al.* (2012), enquanto que Shahzad *et al.* (2018) utilizaram informações de sensoriamento remoto para correlacionar com a turbidez de lagos e reservatórios. Fassoni-Andrade e Paiva (2019) analisaram qualitativamente a dinâmica especial-temporal de sedimentos em suspensão no Rio Amazonas, utilizando apenas dados de reflectância de imagens de satélite. Já Miller *et al.* (2005) e Yang *et al.* (2014) utilizaram mapas de CSS a partir de imagens de satélite para calibrar e validar modelos hidrodinâmicos de transporte de sedimentos. Recentemente, Fagundes *et al.* (2020) verificou que o sensoriamento remoto pode ser utilizado como uma fonte de dados em modelagem hidrossedimentológica, para verificar a variabilidade espacial-temporal da CSS.

Dessa forma, este artigo visa desenvolver uma metodologia para obtenção de reflectância da banda vermelha de imagens de sensoriamento remoto para dar suporte a modelagem hidrossedimentológica em grandes escalas, uma vez que se observa uma falta de dados para esse tipo de trabalho, e ainda auxiliar na caracterização de grandes bacias. Para isso, o trabalho foi desenvolvido na plataforma de processamento geoespacial baseado em nuvem Google Earth Engine (GEE) (Gorelick *et al.* 2017). Ainda, são apresentados alguns resultados preliminares.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiro, foi realizada uma análise das larguras de rios, utilizando a máscara d'água desenvolvida por Allen e Pavelsky (2018) a partir de imagens de sensoriamento remoto, para determinar as localidades que seriam inseridas as estações virtuais (EV). O critério foi que o rio deveria ter uma largura igual ou maior a 30 m. Após, foi realizada uma intersecção entre a discretização obtida pelo modelo hidrossedimentológico, ou seja dividida em pequenas mini-bacias, e os rios obtidos a partir de Allen e Pavelsky (2018). A Figura 1 apresenta um exemplo de aplicação da metodologia em uma região, que gerou 1.237 EV ao longo de toda área de estudo. Para outras aplicações, outras discretizações podem ser escolhidas, inclusive bacias e sub-bacias de interesse do usuário.

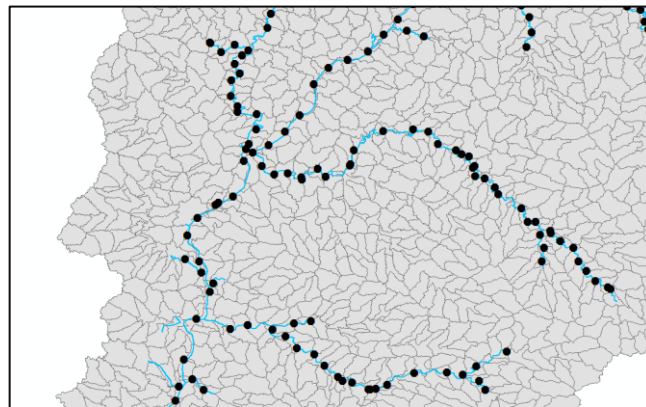
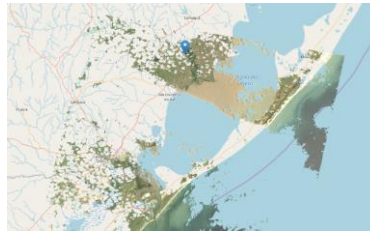


Figura 1. Discretização do modelo que foi utilizada como base para criação das EV de forma homogênea (em cinza), os rios mapeados por Allen e Pavelsky (2018) usados para determinar a localização das EV (linhas azuis) e exemplos de EV em uma região escolhida na área de estudo (pontos pretos) (Fonte: Autor)

O sensor escolhido foi o TM, a bordo do satélite Landsat 5, com resolução espacial de 30 m, devido a janela de tempo do sensor ser compatível com a janela de tempo de simulação. Foram coletadas informações de reflectância no comprimento de onda da banda vermelha, de acordo com estudos anteriores (Ritchie *et al.* 1987; Fagundes *et al.* 2019, 2020), que apresentaram uma melhor correlação de CSS nessa banda. Contudo, é possível utilizar essa metodologia para obter informações de outros comprimentos de banda e de outros sensores disponíveis na plataforma GEE (Gorelick *et al.* 2017). Para cada ponto, foi realizado o *buffer* de um círculo de raio igual a 1.000 m (Figura 2a). Para cada imagem, foram removidos os pixels com nuvens (Figura 2b), utilizando as bandas de qualidade do Landsat 5. Por fim, foi gerada uma máscara d'água dinâmica para cada imagem, em cada EV, para assegurar que apenas pixels de água seriam utilizados para coletar as informações de reflectância (Figura 2c). Dessa forma, foi calculada a média da reflectância da banda vermelha de cada pixel (sem nuvens) dentro da máscara d'água dinâmica, cortada pelo círculo de 1.000 m.



(a) Localização das EV, com o círculo de 1.000 m



(b) Remoção dos pixels com nuvens



(c) Máscara d'água dinâmica (pixels azuis) cortada pelo buffer

Figura 2. Processamento das imagens de sensoriamento remoto na plataforma GEE (Fonte: Autor)

A obtenção e o processamento das imagens foi realizada utilizando a plataforma de processamento geoespacial Google Earth Engine (GEE) (Gorelick *et al.* 2017) que apresenta, entre suas vantagens, a disponibilidade de processamento em alta performance baseado em nuvem, facilitando estudos nas mais variadas escalas, inclusive em escala global, além de disponibilizar o acesso aos principais produtos de sensoriamento remoto disponíveis, dispensando a necessidade de realizar o *download* desses dados.

Para testar a metodologia, escolhemos a região hidrográfica do Rio Grande do Sul (Figura 3). Esta é a região mais ao sul do Brasil e apresenta importância econômica, ambiental e social no contexto da América do Sul (Lopes *et al.* 2015). Nesta região, já foram desenvolvidos alguns estudos de modelagem da geração e transporte de sedimentos (Rossoni *et al.* 2018; Rossoni e Fan, 2019a, 2019b) e coleta de sedimentos em campo (Sari *et al.* 2017). No entanto, ainda é difícil de encontrar dados em grande escala, com boa resolução temporal, para calibração e validação de modelos, e suas possíveis aplicações.

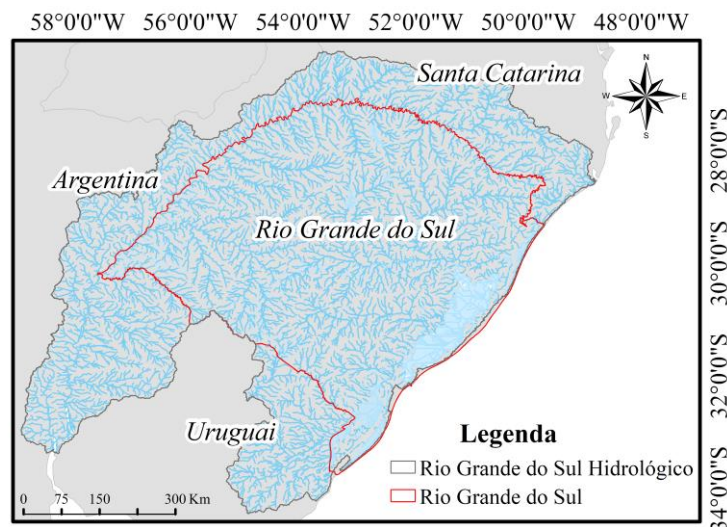


Figura 3. Região hidrológica do Rio Grande do Sul: área de estudo escolhida para aplicar a metodologia. Estado do Rio Grande do Sul (vermelho), região hidrológica do Rio Grande do Sul (delimitação cinza), rios inseridos dentro da região hidrográfica do Rio Grande do Sul (linhas azuis) (Fonte: Autor)

O modelo MGB-SEDin (Buarque, 2015; Föeger *et al.* 2018, 2019) foi utilizado neste trabalho para verificar de forma preliminar as melhorias e resultados que podem ser esperados utilizando esta metodologia para obtenção de dados de sensoriamento remoto, como suporte no processo de calibração e validação de modelos. Este modelo foi baseado em trabalhos anteriores desenvolvido por Rossoni e Fan (2019a), onde pode ser obtido mais detalhes. Foi utilizado uma discretização com foco nos processos hidrossedimentológicos, o mapa de URHSed (Rossoni e Fan, 2019b). O modelo foi calibrado de forma automática, utilizando como função objetivo os termos do KGE (Gupta *et al.* 2009) e utilizando dados de CSS observados de estações fluviométricas da ANA (Agência Nacional de Águas). Para uma avaliação preliminar dos resultados, foi utilizada como métrica de avaliação a correlação (r), seguindo orientações de estudos prévios (Fagundes *et al.* 2020).

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 4 apresenta as EV obtidas a partir de imagens de satélite com a metodologia apresentada no presente estudo e as estações sedimentométricas da ANA (Agência Nacional de Águas), onde é obtido os dados de CSS observados. As EV apresentaram uma maior e mais homogênea cobertura espacial do que as estações sedimentométricas.

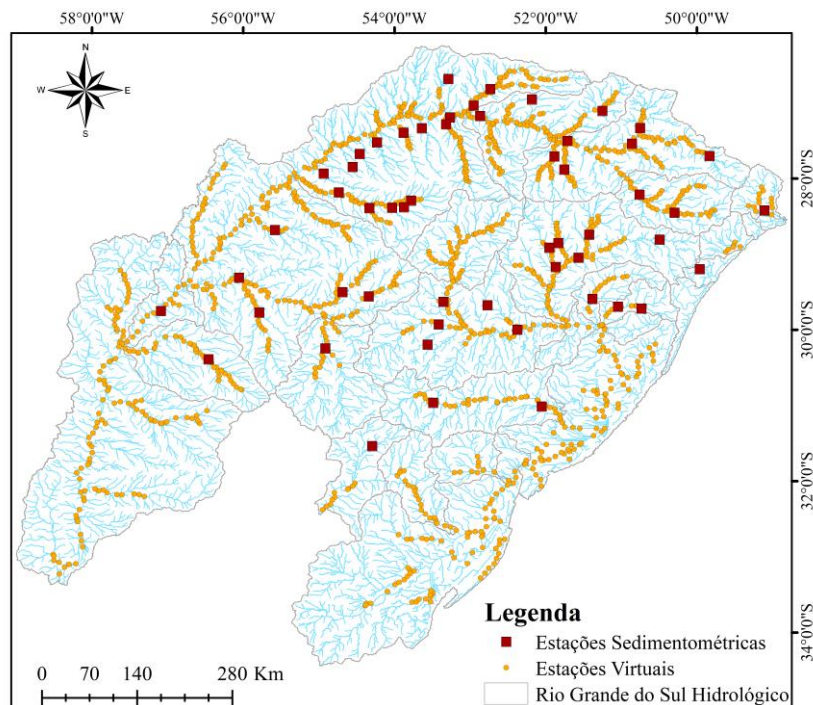


Figura 4. EV desenvolvidas no presente estudo utilizadas para coleta de informações de CSS a partir de imagens de satélite (bolinhas laranjas) e estações sedimentométricas da ANA (Agência Nacional de Águas) utilizadas para obtenção de dados de CSS observados (quadrados vermelhos) (Fonte: Autor)

Foi possível obter informações em localidades onde não há estações sedimentométricas com dados acessíveis, por exemplo na região mais ao sul da área de estudo (Uruguai) e na região sudoeste (Argentina). Ainda, foi possível obter a sazonalidade do transporte de sedimentos em suspensão de forma homogênea, cobrindo uma área maior do que utilizando apenas dados de estações sedimentométricas. A Figura 5 apresenta exemplos dos resultados preliminares obtidos a partir dessa metodologia. Ao calibrar o modelo com dados de CSS, obtidos em estações sedimentométricas, foi possível obter melhores correlações entre os dados simulados e os dados de sensoriamento remoto.

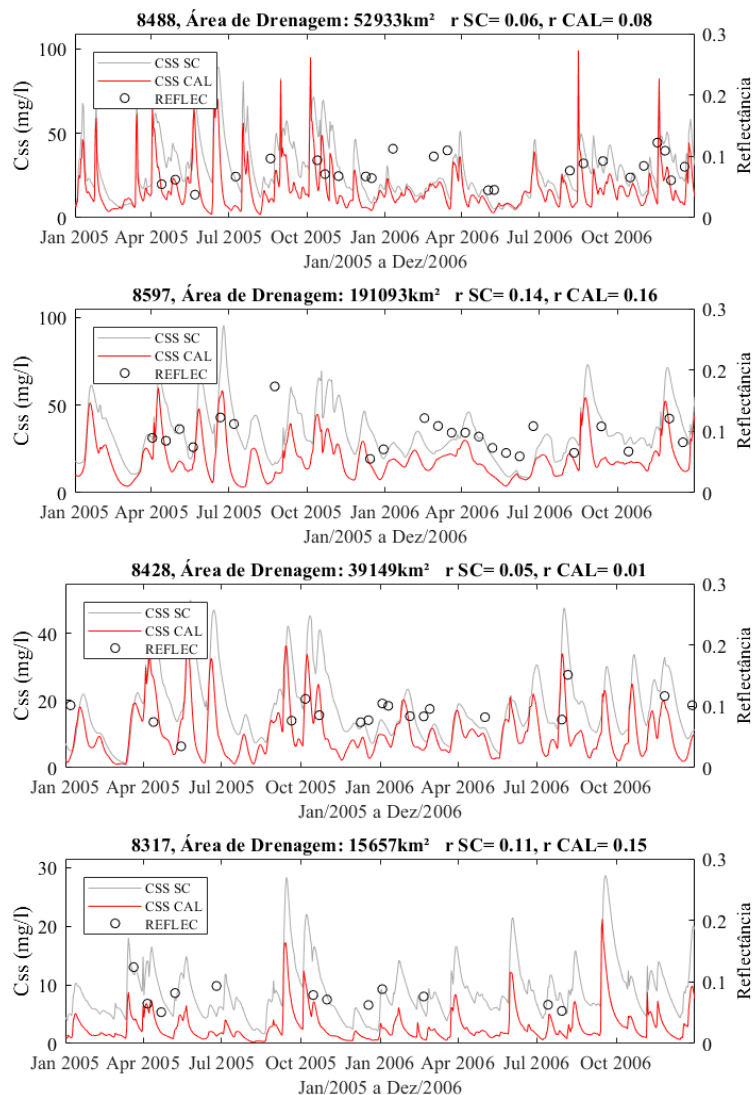


Figura 5. Exemplos de CSS ao longo do tempo, em pontos selecionados. Asteriscos pretos: pontos de reflectância, variando de 0 até 0,2. Linhas vermelhas: resultado da simulação do modelo sem calibração. Linhas pretas: resultado da simulação do modelo com calibração. “ r_{SC} = correlação do modelo sem calibração com dados de reflectância” e “ r_{CAL} = correlação do modelo calibrado com dados de reflectância” (Fonte: Autor)

Esses resultados estão de acordo com resultados obtidos por Fagundes *et al.* (2019) e Fagundes *et al.* (2020), que apresentaram a possibilidade de utilização de dados obtidos a partir de sensoriamento remoto para validar modelo, bem como verificar a coerência dos resultados do modelo numa escala espacial-temporal maior. Além disso, esse trabalho mostra o potencial de utilizar os dados obtidos com essa metodologia para a calibração de modelos hidrossedimentológicos, com ou sem dados observados medidos em campo.

4 - CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi desenvolvida uma metodologia para obtenção de informações de sensoriamento remoto, utilizando a plataforma de processamento em nuvem GEE, para dar suporte ao processo de calibração e validação de modelos hidrossedimentológicos. As estações virtuais (EV) apresentaram uma maior e mais homogênea cobertura espacial do que as estações sedimentométricas. Resultados preliminares mostram que, quando há uma melhoria do modelo devido a calibração com dados observados, podemos também verificar uma melhoria na correlação entre dados simulados e dados de sensoriamento remoto. Isso mostra o potencial dos dados obtidos a partir dessa metodologia para darem suporte a modelagem hidrossedimentológica em grande escala.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES, pela bolsa concedida à primeira autora do artigo, e a CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa número 305636/2019-7 concedida ao segundo autor.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, G. H.; PAVELSKY, T. M. (2018) Global extent of rivers and streams. *Science*.
- BUARQUE, D. C. (2015) *Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias: Estudo de caso do rio Madeira*. 2015. Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- CURRAN, P. J. et al. (1987) Multispectral remote sensing of nearshore suspended sediments: A pilot study. *International Journal of Remote Sensing*, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 103–112
- DEKKER, A. G.; VOS, R. J.; PETERS, S. W. M. (2002) Analytical algorithms for lake water TSM estimation for retrospective analyses of TM and SPOT sensor data. *International Journal of Remote Sensing*, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 15–35.
- FAGUNDES, H. O. et al. (2020) Sediment modeling of a large-scale basin supported by remote sensing and in-situ observations. *Catena*, [s. l.], v. 190, n. August 2019, p. 104535. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104535>>
- FAGUNDES, H. O.; FAN, F. M.; DE PAIVA, R. C. D. (2019) Automatic calibration of a large-scale sediment model using suspended sediment concentration, water quality, and remote sensing data. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, [s. l.], v. 24, n. May.

- FASSONI-ANDRADE, A. C.; PAIVA, R. C. D. (2019) Mapping spatial-temporal sediment dynamics of river-floodplains in the Amazon. *Remote Sensing of Environment*, [s. l.], v. 221, n. October 2018, p. 94–107.
- FÖEGER, L. B. et al. (2018) Geração e transporte de sedimentos na bacia Amazônica: análise preliminar com o modelo MGB-SED. In *XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*, [s. l.], p. 1–2.
- FÖEGER, L. B. et al. (2019) Modelagem hidrossedimentológica com propagação inercial de vazões. In: *XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS 2019*, Foz do Iguaçu/PR. Foz do Iguaçu/PR: ABRHidro, 2019.
- GORELICK, N. et al. (2017) Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, [s. l.], v. 202, p. 18–27. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>>
- GUERRERO, M. et al. (2016) The acoustic properties of suspended sediment in large rivers: Consequences on ADCP methods applicability. *Water (Switzerland)*, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 1–22.
- GUPTA, H. V. et al. (2009) Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, [s. l.], v. 377, n. 1–2, p. 80–91. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.003>>
- LOPES, V. A. R. et al. (2015) Aplicação preliminar do modelo MGB-IPH para a bacia hidrográfica completa da Laguna dos Patos. In: *XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS 2015*, Brasília/DF. Brasília/DF: ABRHidro.
- MARTINEZ, J. M. et al. (2009) Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. *Catena*, [s. l.], v. 79, n. 3, p. 257–264. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.011>>
- MILLER, R. L. et al. (2005) Using multi-temporal MODIS 250 m data to calibrate and validate a sediment transport model for environmental monitoring of coastal waters. In: *PROCEEDINGS OF THE THIRD INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE ANALYSIS OF MULTI-TEMPORAL REMOTE SENSING IMAGES 2005*, Biloxi. Biloxi: IEEE.
- NOVO, E. M.; HANSOM, J. D.; CURRAN, P. J. (1989) The effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. *International Journal of Remote Sensing*, [s. l.], v. 10, n. 7, p. 1283–1289.
- POTES, M.; COSTA, M. J.; SALGADO, R. (2012) Satellite remote sensing of water turbidity in Alqueva reservoir and implications on lake modelling. *Hydrology and Earth System Sciences*, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 1623–1633.
- RITCHIE, J. C.; COOPER, C. M.; YONGQING, J. (1987) Using Landsat multispectral scanner data to estimate suspended sediments in Moon Lake, Mississippi. *Remote Sensing of Environment*, [s. l.], v. 23, p. 65–81.
- ROSSONI, R. B.; FAN, F. M. (2019a) Hydrological modelling parameters transfer of a Hydrosedimentological Response Unit map. In: *XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS 2019a*, Foz do Iguaçu/PR. Foz do Iguaçu/PR: ABRH.
- ROSSONI, R. B.; FAN, F. M. (2019b) A Hydrosedimentological Response Units map to South America. In: *XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS 2019b*, Foz do Iguaçu/PR. Foz do Iguaçu/PR: ABRH.
- ROSSONI, R. B.; FAN, F. M.; LOPES, V. A. (2018) Estimativa da descarga sólida de sedimentos em suspensão para o Lago Guaíba/RS através da modelagem hidrossedimentológica de grande escala. In: *XIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS 2018*, Vitória/ES. Vitória/ES
- SARI, V.; DOS REIS CASTRO, N. M.; PEDROLLO, O. C. (2017) Estimate of Suspended Sediment Concentration from Monitored Data of Turbidity and Water Level Using Artificial Neural Networks. *Water Resources Management*, [s. l.], v. 31, n. 15, p. 4909–4923.
- SHAHZAD, A. et al. (2018) Mapping Turbidity Levels in the Lake 's Water using Satellite Remote Sensing Technique. *International Journal of Economic and Environmental Geology*, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 40–43.
- UMAR, M.; RHOADS, B. L.; GREENBERG, J. A. (2018) Use of multispectral satellite remote sensing to assess mixing of suspended sediment downstream of large river confluences. *Journal of Hydrology*, [s. l.], v. 556, p. 325–338. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.026>>
- YANG, X. et al. (2014) Numerical simulation of suspended sediment transport merging with satellite derived data in coastal waters. In: *PROCEEDINGS OF SPIE ASIA-PACIFIC REMOTE SENSING 2014 2014*, Beijin: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers.