

**XIII** Colóquio Brasileiro  
de Ciências  
Geodésicas • 2024

Universidade Federal do Paraná

**25** Anos

*Conectando mentes e  
provendo conhecimento*

# **MODELAGEM BIO-ÓPTICA DA TURBIDEZ EM ÁGUAS INTERIORES UTILIZANDO IMAGENS MULTIESPECTRAIS DO SENTINEL- 2 E TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING**

*Renata B. Ortiz<sup>1</sup>, Fernanda S.Y. Watanabe<sup>2</sup>, Beatriz C. Luccheta<sup>3</sup>, Nariane M.R. Bernardo<sup>4</sup>*

1, 2, 3, 4 FCT-UNESP Presidente Prudente

# Introdução

- Turbidez é um parâmetro utilizado na avaliação da qualidade da água, mensurando a dificuldade que um feixe de luz encontra ao atravessar uma amostra de água em comparação com uma amostra padrão [1];
- Em águas interiores, a turbidez é geralmente elevada devido à presença de silte, argila e coloides, além de microrganismos, matéria orgânica e inorgânica [2];
- Fatores como o uso e ocupação da bacia hidrográfica e a conservação da vegetação ciliar influenciam significativamente na qualidade da água [3];
- O enriquecimento de nutrientes na água favorece o “envelhecimento”, conhecido como eutrofização;
- A eutrofização pode tornar a água imprópria para o consumo humano e produção industrial e agropecuária [4].

# Introdução

- É de interesse dos órgãos gestores o monitoramento dos recursos hídricos, porém os métodos convencionais de monitoramento são onerosos e limitados espacialmente e temporalmente;
- As estações de monitoramento estaduais e federais são concentradas nas regiões mais desenvolvidas e urbanizadas;
- O Sensoriamento Remoto surge como alternativa capaz de otimizar e diminuir custos durante o processo de monitoramento dos recursos hídricos, além de suprir lacunas existentes na rede de monitoramento convencional [5];

# Introdução

- Alguns desses indicadores são: turbidez [6], sólidos suspensos [7] e clorofila-a [8];
- Entre os diversos indicadores da qualidade da água, destacam-se aqueles opticamente ativos, que interagem diretamente com a luz solar e, portanto, podem ser detectados a partir de sensores ópticos [9];
- O objetivo deste trabalho foi ajustar e testar um modelo bio-óptico de estimação da turbidez em águas interiores a partir de imagens multiespectrais do sensor *MultiSpectral Imager* (MSI) a bordo do satélite *Sentinel-2*.

# Área de Estudo



# Metodologia

- Nos dias 16 e 17 de fevereiro de 2022, foi realizado o levantamento em campo para coletar dados radiométricos e limnológicos simultâneos e espacialmente coincidentes;
- Foram coletados dados em:
  - 6 pontos amostrais no Rio Mogi Guaçu;
  - 7 pontos amostrais na represa do Córrego da Barrinha, e;
  - 6 pontos nos tanques de piscicultura, totalizando 19 pontos;
- Os dados radiométricos foram coletados utilizando o espectrorradiômetro *FieldSpec® UV/NIR Handheld* de acordo com a metodologia proposta por [10];
- A turbidez foi medida por meio da sonda hidrológica multiparâmetros *Horiba 032410*.



# Metodologia

- Os dados radiométricos coletados foram tratados e utilizados para calcular a reflectância de Sensoriamento Remoto ( $R_{rs}$ );
- Foram simuladas as bandas de comprimento de onda central de 490 nm, 560 nm, 665 nm e 842 nm do sensor MSI (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente);
- Essas bandas foram selecionadas porque possuem resolução espacial de 10 metros e, portanto, são mais adequadas para o porte dos corpos d'água de interesse, especialmente os tanques de piscicultura, que têm dimensões menores de 20 m;
- Além das bandas espectrais, o Índice de Diferença Normalizada da Turbidez (NDTI) foi calculado [11].

$$NDTI = \frac{R_{rs}(665) - R_{rs}(560)}{R_{rs}(665) + R_{rs}(560)}$$

# Metodologia

- Os modelos foram treinados utilizando linhas de código em *Python* com a biblioteca *Scikit-Learn*;
- Para geração do modelo foi ajustado o algoritmo *Random Forest* testando diferentes combinações entre os atributos de entrada (Rrs(490), Rrs(560), Rrs(665), Rrs(842) e NDTI) em conjunto com a turbidez medida in situ;
- A hiper parametrização do modelo foi feita utilizando a ferramenta *Grid Search*, que testa diferentes parâmetros pré-definidos e escolhe a melhor combinação em função da métrica estatística Erro Médio Quadrático (MSE), calculada utilizando Validação Cruzada (10 folds);
- Para avaliar o desempenho dos modelos, foram utilizadas as métricas estatísticas Erro Médio Absoluto (MAE), Erro Médio Absoluto Percentual (MAPE), MSE e Raiz Quadrada do Erro Médio (RMSE).



# Metodologia

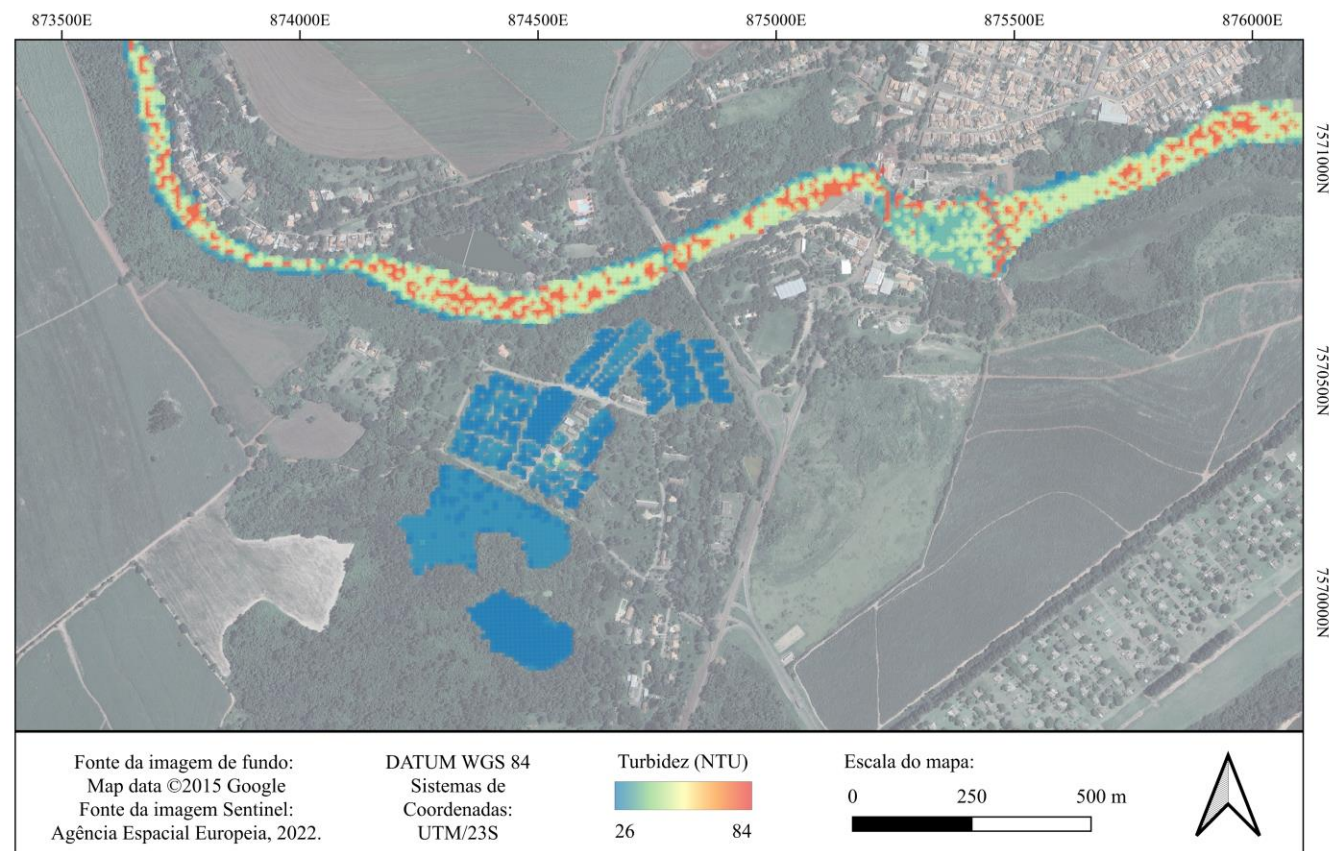
- Para calcular as métricas estatísticas, os modelos ajustados foram aplicados ao conjunto de treinamento e a turbidez estimada foi comparada com a turbidez medida em campo;
- Para aplicação dos modelos treinados, foi escolhida a imagem do satélite *Sentinel-2B* de órbita-ponto T22KHA, capturada no dia 23 de fevereiro de 2022;
- Optou-se pelo nível de processamento 2A, que possui correção geométrica e atmosférica (*Sen2Cor*);
- Para aplicação dos modelos é necessário dividir os valores dos pixels por  $10.000 \cdot \pi$ , para obter-se a  $R_{rs}$ ;
- Assim, os valores de turbidez estimados a partir dos dados radiométricos provenientes da imagem de satélite foram comparados com os valores da turbidez medida *in situ*.

# Resultados e Discussões

- Dentre os corpos d'água estudados, o Rio Mogi Guaçu apresentou os maiores valores de turbidez medidos, variando entre 62,3 e 35,5 NTU, com valor médio de 45,2 NTU;
- Para a Represa do Córrego da Barrinha, os valores de turbidez medidos variaram entre 7,0 e 9,4 NTU, com valor médio de 8,2 NTU;
- Os valores de turbidez medidos nos tanques de piscicultura variaram entre 0,9 e 29, sendo o valor médio igual a 10,4 NTU;
- Os resultados da hiper parametrização indicaram que a melhor combinação de parâmetros foram: número de árvores = 200 e profundidade máxima = 'None'.

# Resultados e Discussões

Modelo	Inputs	Dados	MAE	MAPE	MSE	RMSE
RF-1	490, 560, 665, 842, NDTI	T	4,18	48,74	5,66	<b>32,01</b>
		S	10,23	135,38	13,17	<b>173,52</b>
RF-2	490, 560, 665, 842	T	2,89	35,41	4,03	16,21
		S	14,34	106,11	20,88	435,80
RF-3	560, 665, 842, NDTI	T	4,20	48,73	5,67	32,14
		S	18,36	311,53	20,23	409,19
RF-4	560, 665, 842	T	2,90	37,20	4,18	17,50
		S	14,43	108,48	20,82	433,55
RF-5	NDTI	T	4,78	52,61	6,31	39,79
		S	10,28	143,51	12,92	166,93



# Considerações Finais

- Os modelos que não utilizaram o NDTI como parâmetro de entrada tiveram baixa capacidade de generalização;
- Este estudo demonstrou que a utilização de imagens multiespectrais do sensor MSI/*Sentinel-2*, aliada a modelos bio-ópticos, é uma abordagem eficaz para a estimativa da turbidez em águas interiores;
- Esta metodologia oferece uma alternativa viável apesar de ser limitada espacial e temporalmente;
- Para estudos futuros, recomenda-se trabalhar com um número maior de amostras e maior sincronicidade temporal entre os dados coletados in situ e a captura da imagem orbital.

# Referências Bibliográficas

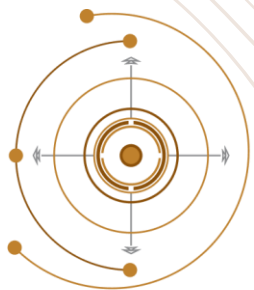
- [1] ANKCORN, P.D. Clarifying turbidity - the potential and limitations of turbidity as a surrogate for water-quality monitoring. In: Georgia Water Resources Conference, 2003, Athens. *Proceedings* [...] Athens: Georgia Water Science Center Publications, 2003
- [2] VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2 ed. Belo Horizonte: CEGRAC, 1996.
- [3] TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- [4] SALGADO, A.A.R.; JÚNIOR, A.P.M. Impactos da silvicultura de eucalipto no aumento das taxas de turbidez das águas fluviais: o caso de mananciais de abastecimento público em Caeté/MG. *Revista Geografias*, v. 2, n.1, pp. 47-57, 2006. DOI: 10.35699/2237-549X.13194.
- [5] FACCO, D.S.; GUASSELLI, L.A.; RUIZ, L.F.C.; SIMONI, J.P.D.; DICK, D.G. Spectral Reflectance in the Spatial-temporal Dynamic of Turbidity, Itaipu Reservoir, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 44, 2021. DOI: 10.11137/1982-3908\_2021\_44\_41228.
- [6] HOSSAIN, A.K.M.A.; MATHIAS, C.; BLANTON, R. Remote Sensing of Turbidity in the Tennessee River Using Landsat 8 Satellite. *Remote Sensing*, v. 13, p. 3785. DOI: 10.3390/rs13183785.



# Referências Bibliográficas

- [7] BERNARDO, N.; CARMO, A.; ROTTA, L.; ALCÂNTARA, E. Single tuned algorithm to estimate the SPM concentration in a cascade reservoir system using OLI/L8 images. *Advances in Space Research*, v. 66, n. 11, p. 2583-2596, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.08.035>
- [8] WATANABE, F.; ALCANTRA, E.; RODRIGUES, T.; ROTTA, L.; BERNARDO, N.; IMAI, N. Remote sensing of the chlorophyll- $\alpha$  based on OLI/Landsat-8 and MSI/Sentinel-2A (Barra Bonita reservoir, Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 2 Suppl. 1, p. 1987-2000, 2018. DOI: 10.1590/0001-3765201720170125
- [9] RODRIGUES, T.; ALCANTRA, E.; WATANABE, F.; IMAI, N. Retrieval of Secchi disk depth from a reservoir using a semi-analytical scheme. *Remote Sensing of Environment*, v. 198, p. 213-228, 2017. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.018.
- [10] MOBLEY, C. D. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements. *Applied Optics*, v. 38, pp. 7442-7455, 1999. DOI: 10.1364/AO.38.007442.
- [11] LACAUX, J.P.; TOURRE, Y.M.; VIGNOLLES, C.; NDIONE, J.A.; LAFAYE, M. Classification of Ponds from High-Spatial Resolution Remote Sensing: Application to Rift Valley Fever Epidemics in Senegal. *Remote Sensing of Environment*, v. 106, p. 66-74, 2007. DOI: 10.1016/j.rse.2006.07.012.





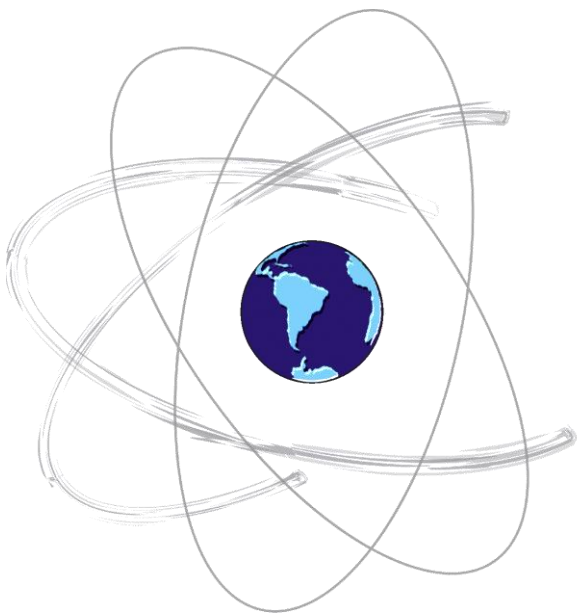
# XIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas • 2024

Universidade Federal do Paraná

# 25 Anos

*Conectando mentes e  
provendo conhecimento*

## AGRADECIMENTOS



## REALIZAÇÃO



Curitiba, 26 a 29 de novembro de 2024