MODELAGEM EMPÍRICA E DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTIMAR A CONCENTRAÇÃO DOS SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NA LAGOA MIRIM - RS

ROSIMÉRI FRAGA[1]; WACTOR TIMM[2]; CAROLINA GALIOTTO[3]; HUGO GUEDES[4]

[1]Universidade Federal de Pelotas – rsfraga@pelotas.ifsul.edu.br
[2]Universidade Federal de Pelotas – wactortimm@hotmail.com
[3]Universidade Federal de Pelotas – galiottocarolina@gmail.com
[4]Universidade Federal de Pelotas – hugo.guedes@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Presente em dois países, Brasil e Uruguai, a Lagoa Mirim possui grande destaque na região sul do país. Atualmente, 47% de sua extensão está em território brasileiro e 53% em território uruguaio (EMBRAPA, 2010). De acordo com Oliveira et al. (2015), a Lagoa Mirim localiza-se em uma região complexa, tanto pela sua importância política, por ser uma lagoa binacional, como pelas atividades econômicas ligadas à agricultura, à indústria e à pecuária. O principal uso das águas consiste nas extrações diretas para a irrigação das lavouras de arroz, tanto em território brasileiro como no uruguaio.

Atualmente, ecossistemas de todo o mundo vêm sendo afetados devido às atividades antropogênicas (MUNAR et al., 2017), as quais potencializa o aporte de sedimentos nos mananciais. Este fato não é diferente na Lagoa Mirim. Para Sperling (2005) devido ao fato de a água possuir propriedade de solvente e a capacidade de transportar partículas, acaba por incorporar inúmeras impurezas, as quais definem a sua qualidade. Os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos, tornando, então, fundamental o estudo e acompanhamento desse material nos corpos hídricos.

Dentre as diferentes possibilidades em estimar a concentração de sólidos suspensos em mananciais se destaca o uso da técnica de sensoriamento remoto através da reflectância de imagens. Segundo Florenzano (2008), os sensores remotos presentes nos satélites registram a energia refletida e/ou a energia emitida pelos objetos da superfície terrestre. Tal energia é captada por estações de recepção e transformada em imagens. Através dessas imagens, é possível avaliar, a partir de propriedades físico-ópticas dos constituintes presentes na água, o estado em que se encontra o corpo hídrico.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo modelar empiricamente a concentração de sólidos em suspensão (CSS) no norte da Lagoa Mirim, a partir da técnica de sensoriamento remoto.

2. METODOLOGIA

A Lagoa Mirim possui uma área aproximada de 3.749 km^2, uma extensão de 185 km e uma largura média de 20 km, estando ligada à Lagoa dos Patos através do Canal São Gonçalo, constituindo uma bacia transfronteiriça (ALM, 2019). A localização geográfica da Lagoa Mirim no estado do Rio Grande do Sul e os pontos de coleta *in situ* estão indicados na figura 1.

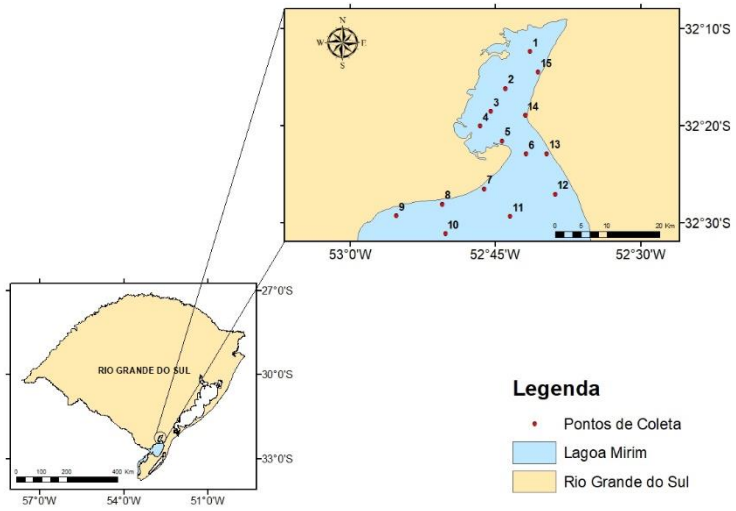

Figura 1- Localização geográfica da Lagoa Mirim no estado do RS e os pontos de coleta monitorados.

As amostras de água foram coletadas nos dias 16/10/2018 e 09/04/2019, em 15 pontos previamente estabelecidos e distribuídos no norte da Lagoa Mirim, sendo as coordenadas geográficas identificadas usando o dispositivo GPS de navegação GARMIN modelo GPS map 60CSX. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Águas no IFSUL, Campus Pelotas - RS, onde ocorreram as análises da água de acordo com a metodologia descrita por APHA (2005).

As imagens utilizadas foram do sensor Multiespectral Imager (MSI), a bordo do satélite Sentinel-2. As imagens advindas deste sensor possuem aptidão para o mapeamento de corpos hídricos, apresentando resolução espacial de 10 - 20 metros e resolução temporal de 5 dias. O processamento das imagens requer conversão das reflectâncias do topo da atmosfera para a superfície da água, e em seguida remoção dos efeitos atmosféricos. Para realizar a correção atmosférica foi utilizado o algoritmo Sen2Cor (RICHTER et al., 2011). A estimativa da CSS foi baseada em modelos empíricos, ajustados em combinações iterativas, visando a melhor correlação entre os dados *in situ* e as imagens de sensoriamento remoto (MATTHEWS, 2011). O desempenho dos modelos, gerados por regressão linear múltipla, foram avaliados utilizando o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão de estimação (Erro) e o Teste-F de significância ($p<0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A normalidade das variáveis foi avaliada por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$). Todas as variáveis, dependente e independentes, apresentaram distribuição normal. Posteriormente, foi avaliada a correlação, por meio do coeficiente de correlação de Pearson (R), entre as variáveis dependente e independentes (Tabela 1). Observa-se que as variáveis independentes apresentaram correlação significativa com a CSS ($p < 0,05$).

Tabela 1 – Coeficiente de correlação de Pearson (R) entre a CSS, analisados *in situ*, e reflectância das bandas e combinações

Bandas e Combinações	B4	B8	B4/B3	(B3+B4)	(B3+B8)	(B3+B4)/(B3+B8)
R	0,52*	0,67*	0,38*	0,39*	0,59*	-0,69*
p-valor	0,004	0	0,04	0,032	0,001	0

*A correlação é significativa no nível 0,05 (2 extremidades); N:30; B4 (vermelho); B8 (infravermelho próximo).

Os resultados encontrados neste estudo, no que diz respeito às correlações entre dados in situ e correlações de bandas estão de acordo com trabalhos desenvolvidos por vários autores. Conforme Fassoni-Andrade et al. (2017) a banda 4 (vermelho) corresponde a faixa espectral mais adequada para monitoramento da CSS. As regiões do espectro eletromagnético correspondentes às faixas do vermelho e do infravermelho próximo são altamente sensíveis à CSS (JENSEN, 2009; ZHANG et al., 2014). Montanher et al. (2014) usaram diversas bandas espectrais na faixa do visível e do infravermelho próximo na construção de modelos para estimativa da CSS.

Na sequência, foi gerado o modelo mais aceitável no norte da Lagoa Mirim, a partir dos resultados das correlações das CSSs (*in situ*), e suas correlações com as bandas e combinações de bandas foi gerado o modelo (Tabela 2).

Tabela 2 – Estatística do modelo empírico para estimativa da CSS no norte da Lagoa Mirim

Estimativa	Variáveis Independentes	R	R^2	R^2 ajustado	Erro *	p-valor (teste -F)	Durbin-Watson
SS*	B4, B4/B3, (B3+B4)/(B3+B8)	0,7	0,5	0,4	9,1	0, 001	1,5

*Unidade em mg/L

Desta forma, foi gerada a seguinte equação (1):

$$SS\ (\mathrm{mg.\,L^{-1}}) = 232{,}22 - 151{,}62.\frac{(B3+B4)}{(B3+B8)} + 16{,}29.\frac{B4}{B3} - 9{,}30.B4 \qquad (1)$$

O mapeamento das concentrações de sólidos suspensos no norte da Lagoa Mirim (Figura 2) foi realizado a partir da Equação (1), sendo aplicada em cada uma das imagens utilizadas neste estudo.

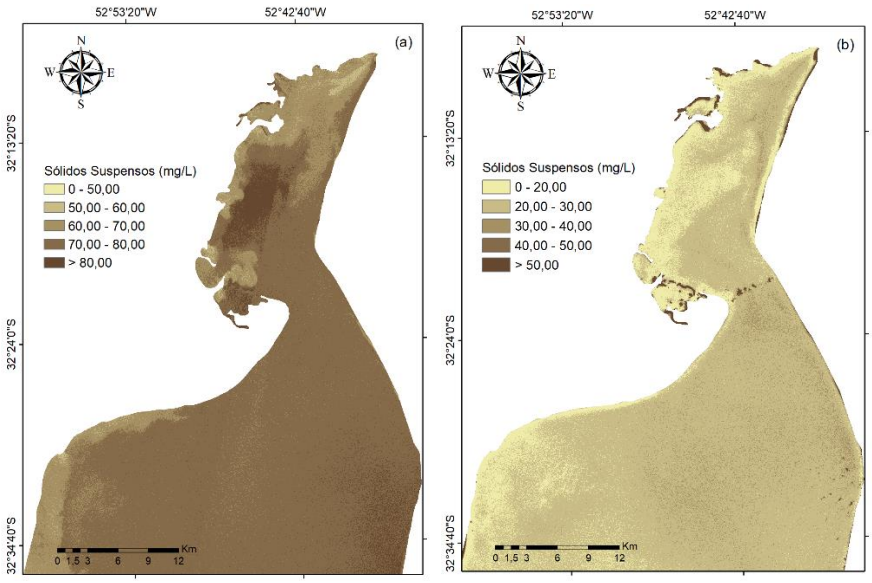

Figura 2 – Mapeamento da CSS no norte da Lagoa Mirim – RS: a) Coleta 1 (16/10/2018); b) Coleta 2 (09/04/2019).

Observa-se na figura 2 que a concentração de sólidos suspensos na coleta 1 está mais elevada quando comparada com a da coleta 2, a qual encontra-se abaixo de 40 mg/L em quase toda extensão da área de estudo). Os valores preditos pelo

modelo estão em concordância com valores encontrados nas análises das amostras coletadas *in situ*.

4. CONCLUSÕES

Com a técnica de sensoriamento remoto, a partir das informações das imagens MSI/Sentinel-2, foi possível modelar satisfatoriamente a concentração de sólidos suspensos no norte da Lagoa Mirim. O modelo gerado (R^2 = 0,50) permitiu registrar as variações espacial e temporal dos sólidos suspensos presente na água, indicando os locais de maior e menor concentração ao norte da Lagoa Mirim.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM – ALM (2019). **Bacia da Lagoa Mirim** (Online). Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/alm/bacia-da-lagoa-mirim. >Acesso: 22 maio, 2019.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 21ª ed. Washington, 2005, 1082 p.

EMBRAPA. **Sustentabilidade Socioambiental da Bacia da Lagoa Mirim**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 1v.

FASSONI-ANDRADE, A.C., ZANOTTA, D.C., GUASSELLI, L.A., ANDRADE, A.M.D., Linear Spectral Mixing Model for estimating optically active components in estuarine waters of Patos Lagoon, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.38, p.4767-4781, 2017.

FLORENZANO, T. G. **Os Satélites e Suas Aplicações**. São José dos Campos: SindCT, 2008. (http://www.sindct.org.br/files/livro.pdf).

JENSEN, **J. R**. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**; tradução: José Carlos Neves Epiphano et al. (coord). São José dos Campos: Parêntese, 2009, 589p.

MATTHEWS, M.W. A current review of empirical procedures of remote sensing in land and near-coastal transitional waters. **International Journal of Remote Sensing**, v.32, p.6855-6899, 2011.

MONTANHER, O.C., NOVO, E.M.; BARBOSA, C.C.; RENNÓ, C.D., SILVA, T.S., Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.29, p.67-77, 2014.

MUNAR, A. M.; CAVALCANTI, J.R.; NASCIMENTO, G.S.; MARQUES, D. M., BRAVO, J. M., FRAGOSO, C. R. Jr. In: **XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, ABRH**, Florianópolis, 2017. Mudanças nos níveis da água da Lagoa Mirim usando dados altimétricos dos satélites Envisat e Icesat.

OLIVEIRA, H. A.; FERNANDES, E. H. L.; MULLER, O.O. Jr.; COLLARES, G. L. Processos Hidrológicos e Hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** RBRH, vol. 20 n.1 Porto Alegre jan./mar. p. 34 – 45, 2015.

RICHTER, R., WANG, X., BACHMANN, M.,e SCHLAEPFER, D. Correcção de efeitos cirro no Sentinel-2 tipo de imagem, **Int. J. Remote Sensing**, vol.32, p2931-294, 2011.

SPERLING, M. V. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgoto**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

ZHANG, M., DONG, Q., CUI, T., XUE, C., ZHANG, S. Suspended sediment monitoring and assessment for Yellon River estuary from Landsat TM and ETM+imagery. **Remote Sensing of Environment**, n.146, p136-147, 2014.