

RESPOSTA DA REFLECTÂNCIA DA ÁGUA FRENTE À PRESENÇA DE DISTINTAS CONCENTRAÇÕES DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO NA ÁGUA

Cristiano Niederauer da Rosa¹, Janisson Batista de Jesus², Fernando Luis Hillebrand³, Waterloo Pereira Filho⁴ e Ulisses Franz Bremer⁵

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, Porto Alegre – RS, cristianoerd@gmail.com; ² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, Porto Alegre – RS, janisson.eng@gmail.com; ³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, Porto Alegre – RS, fernando.hillebrand@rolante.ifrs.edu.br; ⁴ Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria – RS, waterloopf@gmail.com; e ⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, Porto Alegre – RS, ulissesbremer@gmail.com.

RESUMO

O trabalho tem como objetivo avaliar o potencial das imagens do sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI), a bordo do satélite Sentinel 2A, para identificar diferentes concentrações de sólidos em suspensão na água. Para isto foram coletadas amostras de solo da margem do alto curso rio Rolante. A partir destas amostras foram realizadas simulações de diferentes concentrações de sólidos em suspensão na água onde realizou-se as medidas de reflectância no laboratório. Este procedimento foi realizado em recipiente completamente escuro. Com base no comportamento espectral gerado foi aplicado o classificador por ângulo espectral na imagem do sensor MSI. Nos espectros obtidos em laboratório observou-se o aumento gradativo das reflectâncias espectrais com a elevação dos níveis de concentrações de sólidos em suspensão. Apenas concentrações superiores a 900 mg/L foram detectadas nas imagens. Deste modo conclui-se que o sensoriamento remoto é uma ferramenta válida na identificação de diferentes concentrações de sólidos em suspensão na água.

Palavras-chave - Curvas espectrais; Sólidos em suspensão; Mapeamento por ângulo espectral.

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the potential of the MultiSpectral Instrument (MSI) sensor images on the Sentinel 2A satellite to identify different concentrations of suspended solids in water. For this, soil samples were collected from the high rolling river bank. From these samples were carried out simulations of different concentrations of suspended solids in the water where the measurements of reflectance were carried out in the laboratory. This procedure was performed in a completely dark container. Based on the generated spectral behavior the spectral angle classifier was applied to the MSI sensor image. In the spectra obtained in the laboratory the gradual increase of the spectral reflectances with the elevation of the suspended solids concentration levels was observed. Only concentrations higher than 900 mg / L were detected in the images. In this way, it is concluded that remote sensing is a

valid tool in the identification of different concentrations of suspended solids in water.

Keywords - Spectral curves; Solids in suspension; Spectral Angle Mapper.

1. INTRODUÇÃO

As técnicas de sensoriamento remoto permitem o monitoramento dos recursos hídricos de maneira mais eficaz que as técnicas convencionais. A fiscalização ambiental *in loco* exige investimentos financeiros elevados de material e recurso humano, sendo este fato ainda mais relevante se considerarmos a dimensão das bacias hidrográficas, que dificultam uma análise com frequência espaço-temporal adequada [1].

O sensoriamento remoto possui um grande potencial na avaliação espaço-temporal dos recursos hídricos principalmente na questão dos sólidos em suspensão, possibilitando assim, a identificando de problemas relacionados a processos erosivos nas bacias hidrográficas. Algumas áreas mais específicas tais como as análises de processos erosivos [2], material em suspensão em reservatórios [3] e rios [4] já vem utilizando o potencial do sensoriamento remoto com bons resultados.

Dada à relevância das geotecnologias no estudo dos recursos hídricos, o presente estudo teve como objetivo obter a resposta espectral sob diferentes concentrações de solo em suspensão na água e identificá-los em imagens do sensor MSI na região espectral do visível e infravermelho no corpo hídrico do rio Rolante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O trabalho teve como foco de estudo o rio Rolante, situado na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, no Estado do Rio Grande do Sul. A área está localizada entre as coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) E: 531.376 m, N: 6.712.180 m e E: 555.740 m, N: 6.732.234 m, sob Fuso 22, Datum Horizontal SIRGAS 2000. A região possui densa rede de drenagem, sendo sua maioria localizada no rebordo do planalto. Os rios Rolante e Rolantinho da Areia

convergem na área urbana do município configurando uma situação de risco a inundação. Além disso, a elevada declividade do relevo na bacia hidrográfica, torna a região mais vulnerável à ocorrência da erosão hídrica do solo, podendo ocorrer deslizamentos de massa [5].

No município de Rolante/RS podemos encontrar três diferentes unidades de classificação de solos: NVe10 - Nitossolos Vermelhos Eutróficos, PVAd6 - Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos e o RLe12 - Neossolos Litólicos Eutróficos, [6]. A presença dominando dos Neossolos Litólicos Eutróficos nas regiões com declividade acentuada no município [7] amplifica o processo erosivo, uma vez que este solo possui contato lítico a partir de 50 cm da superfície.

2.2. Coleta e análise da reflectância do solo na água

As amostras de solo nas regiões onde ocorre a presença do Neossolo Litólico Eutrófico, predominante na região de estudo, foram coletadas próximas às margens do rio Rolante. Estas amostras foram trituradas e secas em estufa a temperatura de 90°C por um período de 3 horas. Este material foi fracionado com uso de uma balança de precisão nas seguintes proporções: 300, 600, 900, 1.200, 1.500, 1.800, 2.100 mg.

A próxima etapa consistiu na diluição destas frações de solo, separadamente, em um recipiente completamente preto contendo um litro de água visando simular diferentes concentrações de sólidos (mg/L). Para cada concentração foi obtida a curva espectral dos sólidos em suspensão por litro de água. Estes dados foram mensurados no Laboratório de Radiometria e Análise Espectral do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e Meteorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o uso do espectroradiômetro *Fieldspec*. Antes de realizar as coletas, o equipamento foi calibrado com a placa *spectralon*. Ambos os processos supracitados tiveram como origem a radiação emitida a partir de uma lâmpada halógena alocada sobre um tripé com um ângulo de aproximadamente 45 graus a nadir. Os dados foram exportados utilizando o *software ViewSpecPro* e analisados no *Excel*.

2.3. Mapeamento das concentrações de sólidos em suspensão pelo sensor MSI a bordo do satélite Sentinel 2A

Realizou-se o *download* e o pré-processamento da imagem do sensor MSI presente no satélite Sentinel 2A, na data de 06/12/2016, órbita 38, *granule* 22JE por meio do *Semi Automatic Classification Plugin* presente no *software QuantumGIS 2.14*.

A curva espectral obtida para cada concentração de solo em suspensão foi submetida a uma simulação de bandas, por meio do *software ENVI 5.3*. Nesse processo, as bandas espectrais com resolução de 10 metros do sensor MSI foram

simuladas e utilizadas como referência para o mapeamento por ângulo espectral da imagem do respectivo sensor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas espectrais obtidas com o espectroradiômetro mostram que com o acréscimo da concentração de sólidos em suspensão houve como resposta o respectivo aumento nos valores de reflectância (Figura 1).

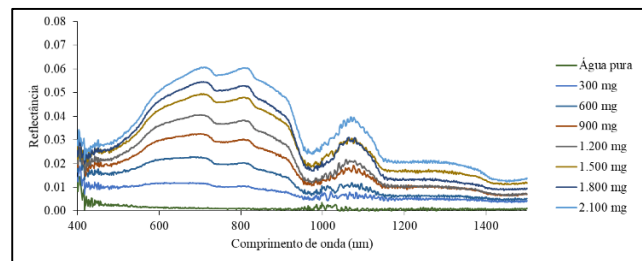


Figura 1. Curvas espectrais de reflectância das concentrações analisadas e da água pura nos diferentes comprimentos de ondas (nm).

Nos comprimentos de onda de 590 a 910 nm observa-se as maiores reflectâncias, com dois picos próximos a 700 e 800 nm, e um decréscimo logo em seguida com o retorno de um pico no valor de 1.070 nm. [8] observaram a relação dos sólidos com um pico na curva espectral entre 500 e 600 nm ao analisar a água do reservatório de Itumbiara em Goiás, porém, com influência de outros fatores como clorofila. Complementarmente [9] também detectaram picos próximos dos 600 nm, porém, com efeito também associado à presença da clorofila na água do reservatório Rodolfo Costa e Silva localizado no município de Itaara, RS.

Segundo [10] o espectro de águas dominadas por sólidos expressa um aumento na reflectância, principalmente em 650 nm.

No estudo realizado encontrou-se alto coeficiente de determinação (R^2 : 0,99) com aumento da concentração de sólidos solúveis na água no comprimento de onda de 886 nm (Figura 2).

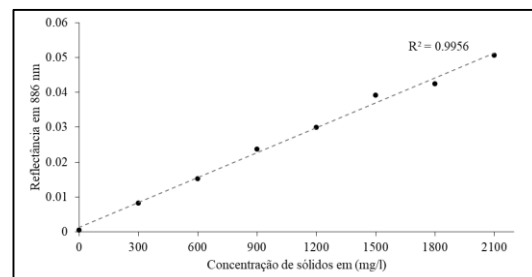


Figura 2. Regressão entre os valores de reflectância das concentrações analisadas no comprimento de onda de 886nm.

Como observado nas curvas de reflectância das diferentes concentrações de sólidos na água, as respostas hiperespectrais apresentaram um padrão comum a todos os

tratamentos. Esse fato se dá devido à ocorrência de um mesmo tipo de solo, pois caso fossem diferentes apresentariam uma curva específica, como observado no estudo realizado por [11]. Essa informação é de grande relevância, pois a análise baseia-se em detectar os pixels na imagem multiespectral a partir das características de cada alvo, e que cada um possui uma propriedade peculiar, o que altera, portanto, a resposta espectral do solo na água. Fato estudado por [12] e [13] os quais concluem que a espectroscopia de reflectância pode auxiliar na determinação da textura e da variabilidade espacial do solo com metodologias semiquantitativas ou quantitativas.

Entretanto, no presente estudo a aplicação do mapeamento por ângulo espectral de cada concentração de sólido em suspensão foi factível apenas a partir do limiar de semelhança de 0,40° entre os espectros de referência e da imagem óptica do Sentinel 2 (Figura 3). Observa-se que as maiores concentrações detectadas pelo método apresentaram as curvas de reflectância mais próximas, o que indica uma melhor combinação e posterior confiabilidade nos resultados gerados.

Com o limiar, supracitado, foram encontrados os resultados mais coerentes com a distribuição dos corpos hídricos do município. Na figura 4 é apresentado em detalhes os pontos em que as curvas espectrais foram mais semelhantes às de referência.

O mapa resultante desta técnica indicou os trechos com diferentes concentrações de sólidos em suspensão analisadas ao longo do rio Rolante. Este recurso mostra que não existe um padrão de quantidade de sedimentos em suspensão desse corpo hídrico. Neste contexto, pode-se observar que não há uma relação diretamente proporcional da variação da quantidade de pixels em função das respectivas concentrações de sedimentos.

Ao longo dos canais de drenagem foram identificados 7 pixels com concentração de 900 mg/L, 5 com 1.200 mg/L, 35 com 1.800 mg/L, 8 com 2.100 mg/L.

Ressalta-se que as curvas espectrais de 300 e 600 mg/L não foram encontradas nas imagens, o que pode estar associado a não existência de tais concentrações no corpo hídrico ou à falta de sensibilidade da técnica a detecção de baixas concentrações. Todavia, vale salientar que também não houve pixels relacionados a 1.500 mg/L, o que reduz o risco da hipótese anterior, ou ainda, as curvas da imagem podem ter sofrido influência de outras características opticamente ativas da água. Outra possibilidade pode estar associada as altas concentrações de sólidos detectadas na imagem, ou/e estar associadas à existência de pixels com respostas espectrais que contenham mistura entre água e outros alvos, no qual predomine a resposta espectral do solo (ex: águas muito rasas).

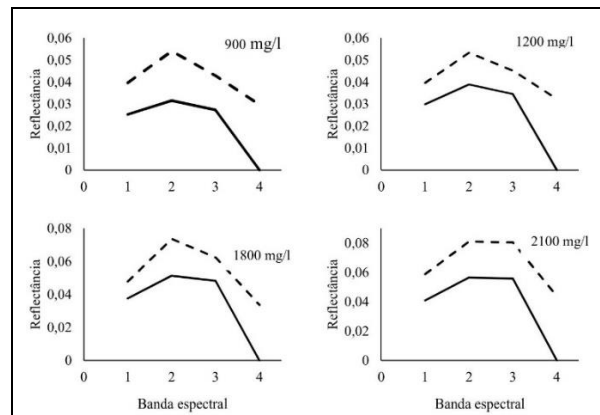


Figura 3. Média dos valores de reflectância por banda espectral da associação do pixel da imagem do Sentinel 2 (linha tracejada) ao espectro reamostrado no ENVI (linha contínua), nas concentrações de sedimentos de solo (mg/L) detectadas no processamento.

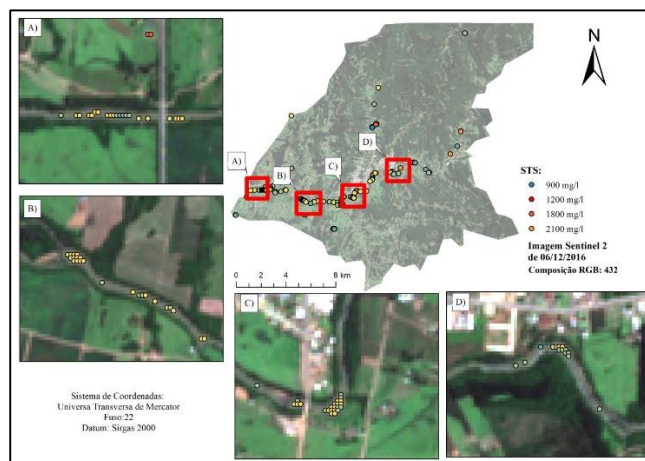


Figura 4. Detecção e identificação dos pixels associados às concentrações de Sólidos Totais em Suspensão (STS) utilizando a imagem Sentinel 2 (06/12/2016), no rio Rolante.

Nota-se que valores altos de concentração de sólidos em suspensão foram encontrados ao longo do corpo hídrico estudado.

4. CONCLUSÕES

As curvas espectrais dos Sólidos em Suspensão simuladas em laboratório mostram um comportamento padronizado. Este fato pode estar associado ao tipo do solo utilizado, sendo constatado o aumento dos valores de reflectância a partir do respectivo acréscimo das concentrações em mg/L. Esse aumento fica evidente na região do espectro eletromagnético com comprimentos de onda entre 600 nm a 800 nm.

A técnica de sensoriamento remoto aplicada permite a associação das curvas espectrais simuladas com as obtidas pela imagem do sensor ótico MSI a bordo do Sentinel 2A. Entretanto, foram detectados apenas pixels com

concentrações de sólidos em suspensão no corpo hídrico superiores a 900 mg/L.

Considerando o exposto sugere-se que em trabalhos futuros sejam investigados métodos mais eficazes para a detecção de concentrações reduzidas de sedimentos em suspensão na água, indicando até o emprego de imagens obtidas por *drones* embarcados com câmeras multi ou hiperspectrais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001, ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) pelo fomento ao desenvolvimento desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Pinto, C.E.T.; Menezes, P.H.B.J.; Martinez, J.-M.; RoiG, H.L.; Villar, R.A.E. Uso de imagens MODIS no monitoramento do fluxo de sedimentos no reservatório de Três Marias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 5, pp. 507-516, 2014.
- [2] Leyand, J.; Hackney, C.R.; Darby, S.E.; ParsonS, D.R.; Best, J.L.; Nicholas, A.P.; Aalto, R.; Lague, D. Extreme flood-driven fluvial bank erosion and sediment loads: direct process measurements using integrated Mobile Laser Scanning (MLS) and hydro-acoustic techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 42, pp. 334-346, 2017.
- [3] Robert, E.; Grippa, M.; Kergoat, L.; Pinet, S.; Gal, L. Monitoring water turbidity and surface suspended sediment concentration of the Bagre Reservoir (Burkina Faso) using MODIS and field reflectance data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 52, pp. 243-251, 2016.
- [4] Park, E.; Latrubesse, E.M. Modeling suspended sediment distribution patterns of the Amazon River using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, v. 147, pp. 232-242, 2014.
- [5] PMSB. Plano Municipal de Saneamento Básico de Rolante. 2014. Disponível em: <http://www.consorcioptosinos.com.br/downloads/ROLANTE_PMSB_rev_0_pdf.pdf>. Acesso em: 19 de jun. de 2017.
- [6] EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, pp. 306, 2006.
- [7] Rio Grande do Sul. Departamento de Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa Exploratório de Solos do Estado do Rio Grande do Sul. [Rio de Janeiro], Escala 1: 1.000.000, 2002.
- [8] Nascimento, R.F.F.; Alcântara, E.; Kampel, M.; Stech, J.L. Caracterização limnológica do reservatório hidrelétrico de Itumbiara, Goiás, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 6, n. 2, pp. 143-156, 2011.
- [9] Breunig, F M.; Wachholz, F.; Pereira Filho, W.; Rudorff, C.M. Análise das propriedades ópticas da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva – Itaara, RS, Brasil, usando dados espectrais de campo e imagens orbitais multiespectrais. *Revista Ambiente & Água*, v. 2, n. 2, pp. 88-102, 2007.
- [10] Novo, E. M. L. M.; Steffen, C. A.; Braga, C. Z. F. Results of a laboratory experiment relating spectral reflectance total suspended solids. *Remote Sensing of Environment*, v. 36, pp. 67-72, 1991.
- [11] Demattê, J.A.M.; Araújo, S.R.; Fiorio, P.R.; Fongaro, C.T.; Nanni, M.R. Espectroscopia VIS-NIR-SWIR na avaliação de solos ao longo de uma topossequência em Piracicaba (SP). *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 4, pp. 679-688, 2015.
- [12] Franceschini, M.H.D.; Demattê, J.A.M.; Sato, M.V.; Vicente, L.E.; Grego, C.R. Abordagens semiquantitativa e quantitativa na avaliação da textura do solo por espectroscopia de reflectância bidirecional no VIS-NIR-SWIR. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 12, pp. 1569-1582, 2013.
- [13] Rodrigues, M.deJ.M.; Silva, L.M.da; Marchão, R.L.; Souza, A.M.de; Wadt, P.G.S.; Oliveira, L.C.de. Espectroscopia no infravermelho próximo para a quantificação de carbono em solos da bacia do Acre. *Biota Amazônia*, v. 6, n. 1, pp. 119-124, 2016.