

## ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS BASEADA NA PRIMEIRA DERIVADA EM ESPECTROS DE REFLECTÂNCIA DA ÁGUA

Raí Rebouças Cavalcante<sup>1</sup>, Julyanne Braga Cruz Amaral<sup>2</sup>,  
Fernanda Helena Oliveira da Silva<sup>3</sup>, Fernando Bezerra Lopes<sup>4</sup>, Eunice Maia de Andade<sup>5</sup>

**RESUMO:** A concentração de sedimento em suspensão é um dos parâmetros usados na avaliação da qualidade de água dos corpos hídricos. Demonstrando-se assim a necessidade de um monitoramento desse atributo nas águas superficiais. Com base nisso, este estudo busca verificar o potencial da aplicação da análise derivativa sobre dados obtidos por espectrorradiômetro, visando estabelecer relações para estimar a concentração de sedimento presente na água. O experimento foi realizado com dois tipos de solos: argissolo e gleissolo. Sendo utilizados recipientes de 10 litros de volume, neste foram adicionados os sedimentos peneirados para obter concentração de 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 900, 1200, 1500, 2000, 2500 e 3000 mg L<sup>-1</sup>. A cada aumento de concentração de sedimento foi realizado a leitura da radiância por meio do espectrorradiômetro FieldSpec® 4 Hi-Res. Após a coleta, os dados foram processados e aplicada a primeira derivada da reflectância dos alvos. As correlações dos dados foram mais altas após a aplicação da análise derivativa nos espectros de reflectância. Foi possível estimar as concentrações de sedimento para cada tipo de solo usado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade de água, Análise Derivativa, Sensoriamento Remoto.

## SEDIMENT CONCENTRATION ANALYSIS BASED ON FIRST DERIVATIVE IN WATER REFLECTANCE SPECTRA

**ABSTRACT:** Suspended sediment concentration is one of the parameters used to evaluate water quality of water bodies. This demonstrates the need for monitoring of this factor in

<sup>1</sup> Mestrando em Eng<sup>a</sup> Agrícola, PPGEA – UFC, Centro de Ciências Agrárias - CCA/UFC, Bloco 804, s/n - Pici, CEP 60455-760, Fortaleza, CE. Fone: (85) 99691-9175 Email: raireboucas@hotmail.com

<sup>2</sup> Mestranda em Eng<sup>a</sup> Agrícola, PPGEA-UFC, Fortaleza, CE

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Agrícola, Empresa Grupo Transitar e Associados, Fortaleza, CE.

<sup>4</sup> Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, CE.

<sup>5</sup> Profa. PhD, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRSA, Mossoró, RN.

surface waters used in irrigation. Based on this, this study seeks to verify the potential of applying derivative analysis on data obtained by spectroradiometer, aiming to establish relationships to estimate the concentration of sediment present in water. The experiment was carried out with two soil types: argisol and gleysol. Using 10 liter containers, the sieved sediment was added to obtain a concentration of 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 900, 1200, 1500, 2000, 2500 and 3000 mg L<sup>-1</sup>. At each increase in sediment concentration a spectral response was obtained by means of the FieldSpec® 4 Hi-Res spectroradiometer. After collection, the data were processed and the first derivative of the reflectance response of the targets applied. The correlations of the data were higher after the application of the derivative analysis of the same ones. It was possible to estimate sediment concentrations for each soil type used.

**KEYWORDS:** Water Quality, Derivative Analysis, Remote Sensing

## INTRODUÇÃO

O monitoramento dos recursos hídricos tem objetivo de preservar a qualidade da água, sendo uma ferramenta importante na gestão e na avaliação espaço-temporal deste recurso (NOVO, 2007). De acordo com Lopes *et al.* (2014), a utilização de dados radiométricos no monitoramento torna-se importante por permitir a avaliação mais rápida de problemas dinâmicos da qualidade da água, como os sedimentos e a eutrofização.

Os constituintes opticamente ativos (COAs) são os agentes que interferem nas propriedades óticas da água, sendo os sedimentos em suspensão (SS) um parâmetro importante para a biota de ecossistemas aquáticos (WETZEL, 2001). Para avaliação dos SS na qualidade de água, por meio de dados radiométricos, a concentração e o tamanho das partículas são determinantes na resposta espectral da água, aumentando a porcentagem de energia refletida (LOPES *et al.*, 2014). Os desafios tecnológicos do sensoriamento remoto estão ligados às resoluções espaciais, espectrais e radiométrica. A utilização de técnicas de espectroscopia juntamente com análise derivativa passou a ser uma opção viável na análise de curvas espectrais com baixo sinal, como na água (ENNES *et al.*, 2010).

Diversos trabalhos aplicando análise derivativa em curvas espectrais extraídas de corpos d'água contendo sedimentos em suspensão foram realizados nos últimos anos, com objetivo de estimar a concentração de sedimentos presentes na água (CHEN *et al.*, 1992, RUDORFF *et al.*, 2007; ENNES *et al.*, 2010; LOPES *et al.*, 2019). Portanto, objetivou-se verificar o

potencial da aplicação da análise derivativa sobre dados obtidos por espectrorradiômetro, visando estabelecer correlações para estimar a concentração de sedimento presente na água.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), da Universidade Federal de Ceará, localizado no Campus do Pici, Fortaleza/CE.

Utilizaram-se dois tipos de solos nos experimentos: Argissolo Vermelho–Amarelo e Gleissolo Sálícos, coletados na cidade de Pentecoste e na cidade de Aracati, respectivamente. As amostras de solo após serem coletados, foram secos e peneirados. Utilizaram-se três peneiras de 2 mm, 1 mm e de 0,03 mm. Com este material processado foram realizados ensaios de granulometria (NBR-6508 - Determinação da Massa Específica de Grãos de Solos). As análises físico-químicas dos dois solos foram realizadas no Laboratório de Solo e Água do Departamento de Ciências do Solo (UFC), cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise físico-químicas do Argissolo e Gleissolo utilizados para caracterização espectral.

Solo	C.E (dSm <sup>-1</sup> )	MO (g.kg <sup>-1</sup> )	Areia (g.kg <sup>-1</sup> )	Silte (g.kg <sup>-1</sup> )	Argila (g.kg <sup>-1</sup> )
Argissolo	0,23	5,90	582,64	112,36	305,00
Gleissolo	16,10	11,48	662,93	190,07	147,00

Condutividade elétrica (C.E), Matéria Orgânica do solo (M.O).

Tanque plástico de cor preto fosco com capacidade de 10 litros, com altura de 0,25 m e diâmetro de 0,25 m, foi utilizado no experimento. As massas de solos foram pesadas em balança de precisão, e então foram determinadas as concentrações de sedimentos a serem utilizadas em água destilada. As concentrações totais de sólidos utilizadas foram 0 (água destilada), 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 900, 1200, 1500, 2000, 2500 e 3000 mg L<sup>-1</sup>. Estes valores foram adicionados gradativamente no tanque de água destilada e foi realizada as leituras da radiância. O solo foi mantido em suspensão durante a experiência por agitação manual.

As leituras de radiação foram realizadas com o espectrorradiômetro FieldSpec® 4 Hi-Res – alta precisão espectral, projetado pela empresa ASD Community Newsroom. É um espectrorradiômetro de campo portátil, resolução espectral: 3nm em 700nm e 8,5nm em

1400nm e 6,5nm em 2100nm, sendo reamostrado para 1nm e velocidade de coleta de dados: 0,1 segundos na aquisição em espectro simples, aproximadamente 1,5 segundos em média para 10 espectros. Realiza medições de radiância e irradiância. Neste experimento, o ângulo de incidência da luz foi de 40°. A unidade detectora foi posicionada manualmente a uma altura 12 cm para o tanque, com um campo de visada (FOV) de 25° de abertura. O sensor cobria uma área correspondente 18,68 cm<sup>2</sup>. Para cada concentração de sedimento em suspensão foram realizadas três leituras. Para evitar contaminação os tanques foram lavados no final de cada experimento. O espectrorradiômetro foi calibrado sempre que necessário e a cada troca de tipo de solo.

A reflectância bidirecional da água e a análise derivativa foi aplicada segundo metodologia descrita por Rudorff *et al.* (2007) nos dados obtidos pelo espectrorradiômetro. A primeira derivada ( $dR\lambda$ ) foi aplicada para melhorar a identificação das bandas espectrais que permitissem estimar a concentração de sedimento na água. O espectro de reflectância com relação ao comprimento de onda  $x_i$  pode ser numericamente aproximada por um esquema de diferenças finitas usando a aproximação central ou simétrica, expresso pela equação 1:

$$dR\lambda/dx=(R_{i+1}-R_{i-1})/2(\Delta x) \quad (1)$$

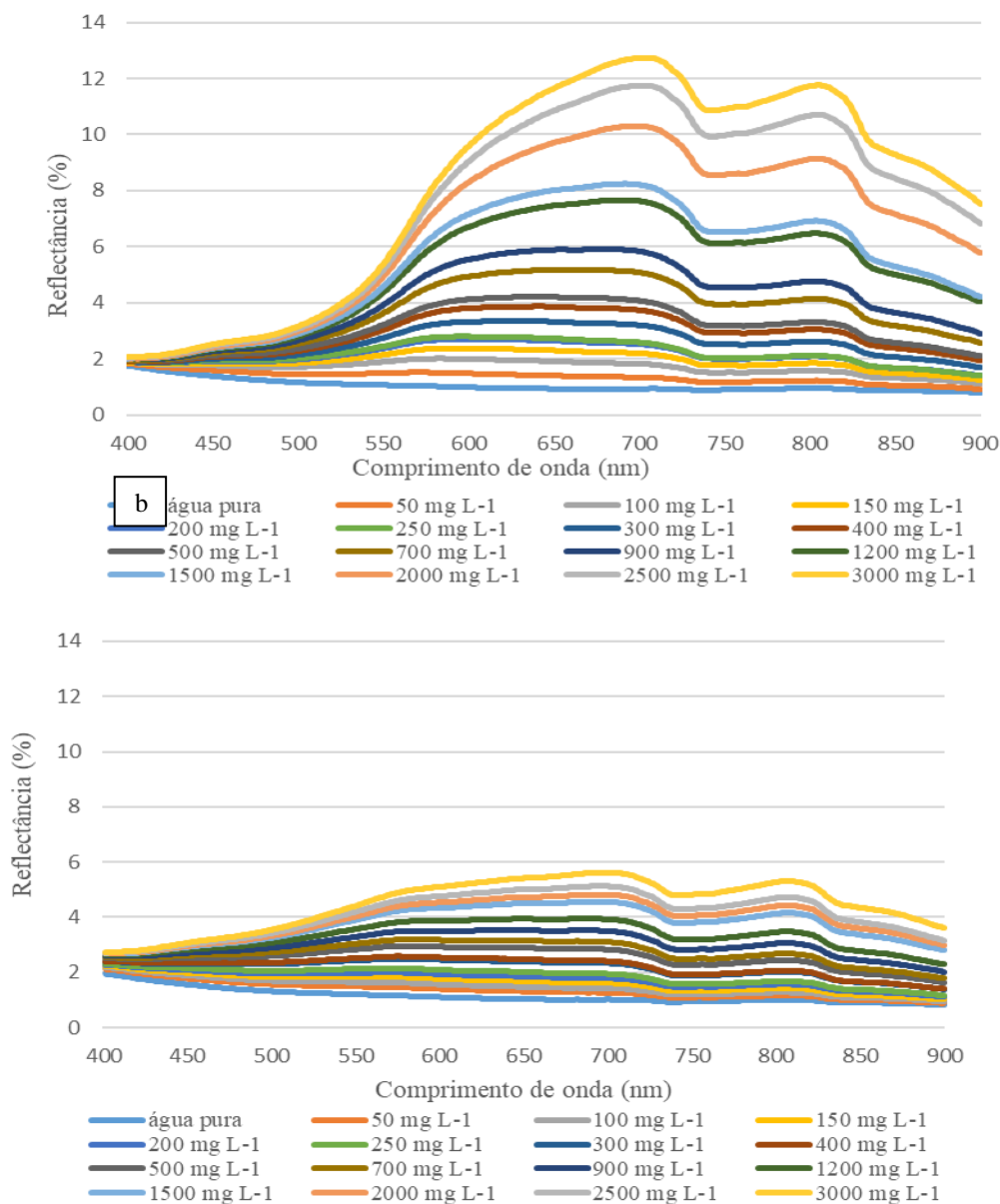
em que:  $\Delta x$  é a separação entre duas bandas sucessivas. Sendo ( $\Delta x = x_j - x_k$ ), considera-se que  $x_j > x_k$  e que o intervalo entre as bandas seja constante.

Para tratamento dos dados no processamento foi utilizado o ViewSpec Pro, versão 6.9.15. Foram usadas 28 amostras para o estabelecimento da regressão e 4 amostras foram usadas para testar a exatidão do modelo. Com auxílio do software Excel<sup>®</sup> para obtenção dos gráficos, validação e determinação da correlação de *Pearson*, Erro do Quadrado Médio entre os comprimentos de onda e a concentração de sedimento em suspensão na água de Argissolo, Gleissolo e os dados unidos de Argissolo com Gleissolo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Figura 1, a reflectância do meio aquático para os dois tipos de solos apresentou resposta diferentes com o aumento da concentração de SS. O aumento nas concentrações de sólidos em suspensão acarretou aumento da reflectância espectral em ambos os ensaios, no entanto o comportamento espectral água com sedimento com Gleissolo foi

mais baixa (Figura 1). Isso implica que águas com elevada concentração de sedimentos em suspensão (SS) apresentam reflectância maiores que águas puras, e as concentrações de argila, M.O são fatores atuantes no tipo de resposta de cada solo (POLIDORIO *et al.*, 2004).

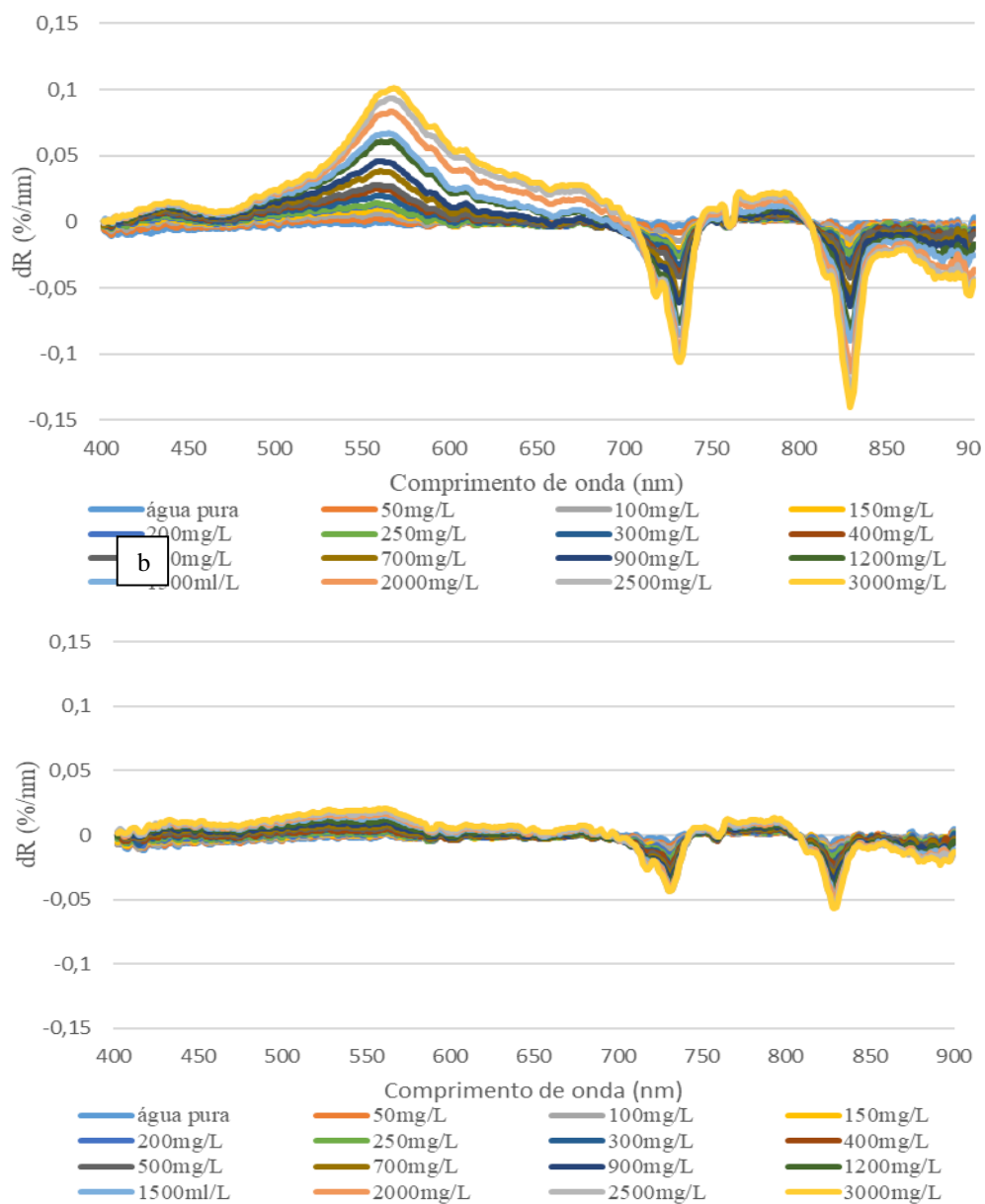


**Figura 1.** Respostas espectrais do sistema aquático com diferentes concentrações de sedimentos em suspensão (SS) de Argissolo (a) e Gleissolo (b).

O sistema aquático com sedimentos de argissolo apresentou maiores valores de reflectância em relação ao segundo, atingindo valor máximo de 13% (Figura 1A) e 6% (Figura 1B) no comprimento de onda de 700 nm. Acredita-se que concentração de argila 305 g.Kg<sup>-1</sup>, e baixa concentração de matéria orgânica 5,9 g.kg<sup>-1</sup>, atuaram na mudança de coloração da água para tons amarelados, aumentando a reflexão da radiação. Segundo Montanher *et al.* (2014) o sistema aquático com carga de sedimento em suspensão apresenta vales nos

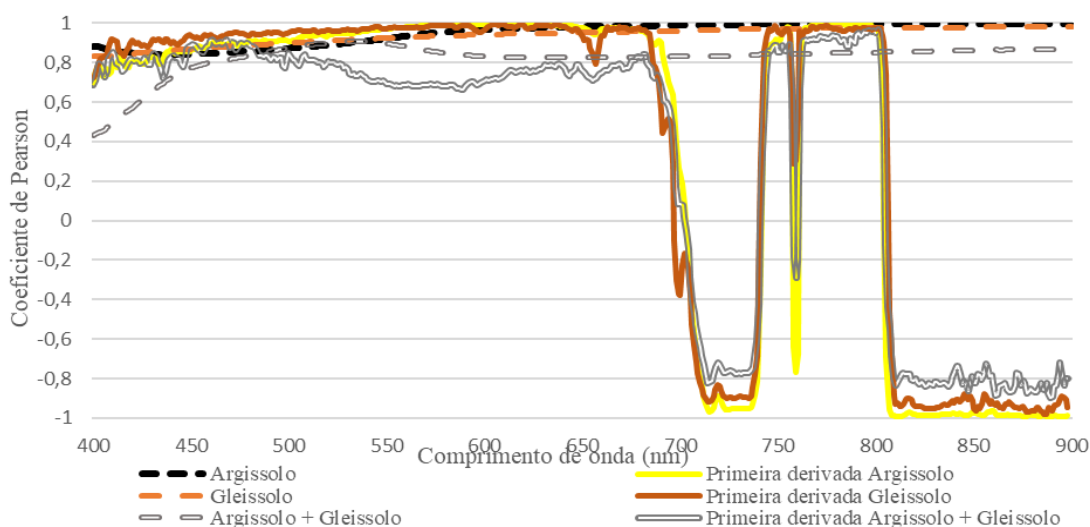
comprimentos 750 e 850 nm. Absorção dos comprimentos próximos a 750 e 850 nm foram percebidos em ambos os sistemas aquáticos (Figura 1).

A análise derivativa da reflectância foi aplicada aos dados para realçar as feições com maior taxa de variação em função do comprimento de onda (BICCA, 2018). A primeira derivada espectral realçou algumas feições ao longo do espectro, pois permite avaliar com acurácia o espectro, removendo o efeito da água e deixando somente a influência dos COAs (SANTOS *et al.*, 2018). De acordo com Rudorff *et al.* (2007), esses valores espectrais mínimos são correspondentes as concentrações de sólidos inorgânicos em suspensão, localizados próximo a 710 e 820 nm (Figura 2).



**Figura 2.** Primeira derivada da reflectância no sistema aquático com diferentes concentrações de sedimentos em suspensão (SS) de Argissolo (a) e Gleissolo (b).

Coefficientes de correlação de Pearson da reflectância e da primeira derivada com a concentração de sedimentos nos sistemas aquáticos foram traçados, também foram traçados correlogramas a partir da união de dados (Argissolo + Gleissolo) (Figura 3). O correlogramas entre as respostas espectrais do Argissolo e Gleissolo apresentaram valor de R máximo de 0,99, exceto quando os dados foram tratados juntos, onde R máximo foi 0,90, na Figura 3 é possível verificar as diferenças no comportamento dos correlogramas. Não foi possível determinar qual comprimento de onda mais se adequa para estimativa da concentração de sedimentos independentemente do tipo de solo.



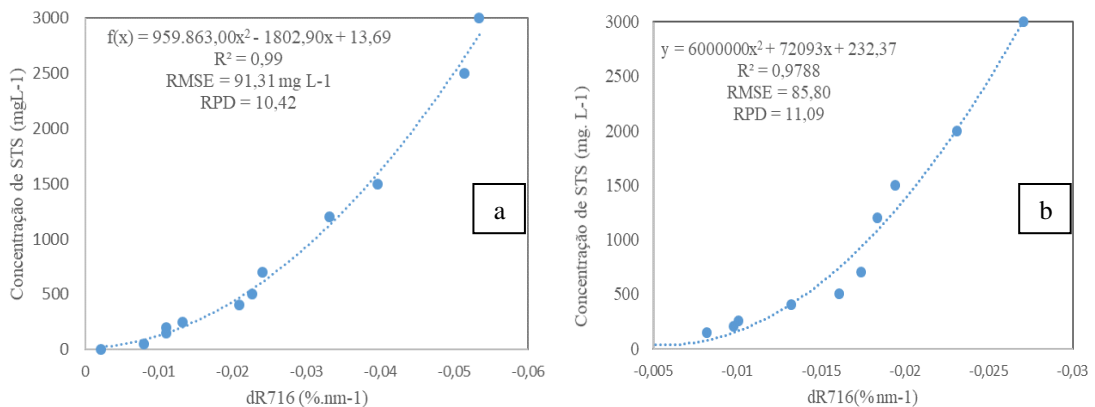
**Figura 3.** Correlograma entre reflectancia e concentração de sólidos em suspensão, e primeira derivada e concentração de sólidos em suspensão.

As correlações da primeira derivada evidenciaram os comprimentos de onda onde ocorrem mudanças bruscas na resposta espectral em função da concentração de SS (BICCA, 2018). Os valores máximos de correlação para o Argissolo e Gleissolo foram -0,96 no comprimento 716 nm e -0,91 no comprimento 716 nm, respectivamente. Em resultados obtidos em experimentos em tanque, percebeu-se através da primeira derivada dos dados espectrais maiores correlações com a concentração de sedimentos na água no comprimento 750 nm (HAN, 1997).

Com base nos resultados obtidos pelo coeficiente de correlação da primeira derivada foi selecionado o comprimento de onda 716 nm para testes da inferência da concentração de sedimento na água através de regressões. Por apresentar melhores resultados foi selecionada o ajuste polinomial nas regressões (NETER *et al.*, 1996).

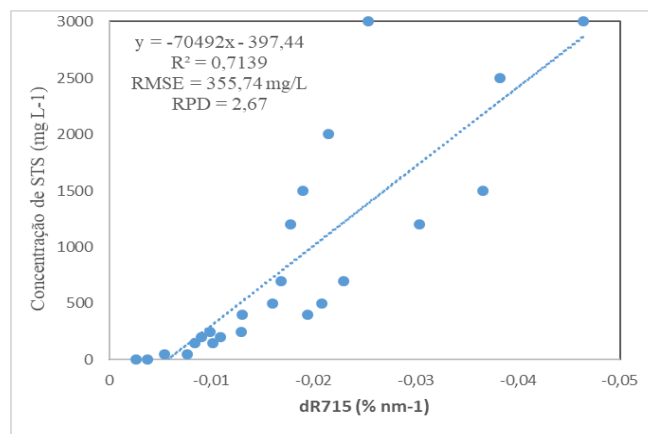
As regressões para sedimento de Argissolo apresentou coeficiente de determinação usando a primeira derivada em 716 nm ( $R^2$ ) de 0,97, erro quadrado médio (RMSE) de 91,31

mg L<sup>-1</sup> e desvio padrão do erro (RPD) de 10,42, enquanto o sedimento de Gleissolo teve R<sup>2</sup> de 0,97, RMSE de 85,80 mg L<sup>-1</sup> e RPD de 11,09 (Figura 3).



**Figura 3.** Regressão para o sistema aquático com sedimento de Argissolo (a) e de Gleissolo(b).

Uma regressão para os dois solos foi proposta com os dados de primeira derivada do espectro. A partir do correlogramas (Figura 3) foi determinado o coeficiente de correlação máximo na faixa de absorção do gráfico, e o comprimento selecionado foi o 715 nm. A regressão apresentou (R<sup>2</sup>) de 0,71 e RMSE de 355,9 mg L<sup>-1</sup>, e RPD de 2,67.

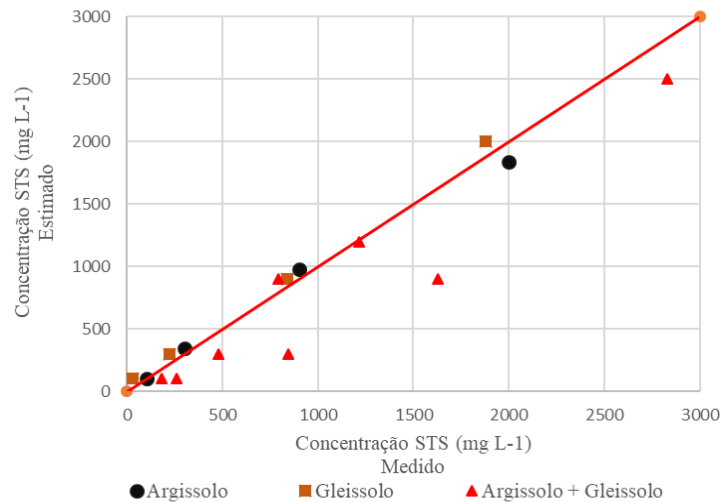


**Figura 4.** Regressão a partir da união de dados coletados separadamente de sistema aquático com sedimento de Argissolo e de Gleissolo.

Quando tratados juntos os dados apresentaram erro 4 vezes maior, o que pode gerar diferenças nas leituras. De acordo com a Figura 5, as amostras testes apresentam maior acurácia em valores de concentração mais baixo para todas as 3 regressões, enquanto concentrações acima de 1500 mg L<sup>-1</sup> estão mais distantes da linha. Resultados semelhantes foram encontrados para dois de solos salinos, onde os coeficientes de desempenho do modelo



geral foram mais ajustados entre as concentrações de 300 mg L<sup>-1</sup> a 1500 mg L<sup>-1</sup> concentração de sedimentos em suspensão (LOPES *et al.* 2019)



**Figura 5.** Teste de exatidão dos três modelos do sistema com argissolo, gleissolo e com dados unidos dos dois solos em tanque de 10 litros de capacidade.

## CONCLUSÕES

As características físico-químicas dos sedimentos em suspensão em água influenciam na resposta espectral. O teor de matéria orgânica e a textura do solo foram determinantes no comportamento espectral do sistema aquático. O sedimento de argissolo apresentou maior reflectância que o sedimento do gleissolo.

A análise derivativa da reflectância possibilitou uma melhor seleção dos comprimentos de onda para construção de regressões para estimar concentração de sedimentos em água. Quando tratados juntos, os dados de Argissolo e Gleissolo, apresentam elevação dos erros médios, mostrando que as características físico-químicas dos solos influenciam no comportamento espectral da água.

## REFERÊNCIAS

ARNONE, R., ACKER, J., OUIILLON, S., GOULD, R., RESE, N., RES, N.. Measuring marine suspended sediment concentrations from space: history and potential. In: **8th international conference on remote sensing for marine and coastal environments**. 2005.

BICCA, I. de A. Comparação de sólidos em suspensão em lagos da Amazônia e do Rio Grande do Sul a partir de dados espectrais. **Dissertação de mestrado**. PGG – UFRSM, SC. 2018.

CHEN, Z.; CURRAN, P. J.; HANSOM, J. D. Derivative reflectance spectroscopy to estimate suspended sediment concentration. **Remote Sensing of Environment**, v. 40, n. 1, p. 67-77, 1992.

ENNES, Rejane; GALO, MARIA DE LOURDES BUENO TRINDADE; TACHIBANA, VILMA MAYUMI. Caracterização espectral da água do reservatório de Itupararanga, SP, a partir de imagens hiperespectrais Hyperion e análise derivativa. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 16, n. 1, 2010.

LOPES. J.W.B; LOPES, F.B., ANDRADE, E.M., CHAVES, L.C.G, CARNEIRO, M.G.R. Spectral Response of Water Under Different Concentrations of Suspended Sediment: Measurement and Simplified Modeling. **Journal of Africultural Science**, vol. 11 No. 3, 2019.

LOPES, F.B.; BARBOSA, C.C.F.; NOVO, E.M.L.M.; ANDRADE, E.M.; CHAVES, L.C.G. Modelagem da qualidade das águas a partir de Sensoriamento Remoto Hiperespectral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p. S13–S19, 2014.

MONTANHER, O. C.; EVLYN, M.L.M.; NOVO.; C.; BARBOSA, C.F.; RENNÓ, C. D.; SILVA, T. S.F. Modelos empíricos para estimar a concentração de sedimentos em suspensão na Amazônia rios de água branca usando Landsat 5/TM. **ELSEVIER**, v. 14, 2014, 67 – 77p.

NETER, J.; KUTNER, M.H.; NACHTSHEIM, C.J.; WASSERMAN, W. NETER, John et al. **Applied linear statistical models**. Chicago: Irwin, 1996.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto aplicado à ecologia aquática In: Roland, F.; César, D.; Marinho, M. (ed.). **Lições de limnologia**. São Carlos: RiMa, 2005. cap.5, p.417-432

POLIDORIO, A.; IMAI, N.; TOMMASELLI, A. Índice indicador de corpos d'água para imagens multiespectrais. **I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, v. 9, 2004.

RUDORFF, C. M., NOVO, E. M. L. M., GALVÃO, L. S., PEREIRA FILHO, W. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 269-280, 2007.

SANTOS, E.P., CARNEIRO R.A, BOMFIM, T. Sensoriamento remoto hiperespectral no estudo do corpo hídrico do baixo curso do rio Subaé, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 06, 2018.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. *Limnological Analyses* Springer-Verlag New York 342 Google Scholar. 1991.