

Caracterização Espectral da Água e da Vegetação Aquática Submersa no Estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil)

Bruno Lainetti Gianasi¹
Allan de Oliveira de Oliveira¹
Waterloo Pereira Filho²
Margareth da Silva Copertino¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Oceanografia
Caixa Postal 474. Cep: 96201-900 - Rio Grande, RS-Brasil
(lainettibr, a.o.oliveira)@hotmail.com,
doccoper@furg.br

² Universidade Federal de Santa Maria
Departamento de Geociências
Cep: 97111-970 - Santa Maria, RS-Brasil
waterloo@base.ufsm.br

Abstract: Submerged aquatic vegetation (SAV) in Patos Lagoon estuary, composed by seagrasses and benthic macroalgae, shows a high temporal variability in its distribution, abundance and composition, mainly related to fluvial discharge, sediment dynamics and water quality. However, most studies were punctual, and the techniques used are very limited in space. Remote sensing techniques have been recently applied for SAV monitoring and studying, in order to detect temporal changes and at same time providing a good resolution of spatial dynamics, allowing to evaluate the magnitude and persistence of the changes in abundance and structure. However, the success of such methodology depends on the comprehension of the spectral responses of the SAV and other water and sediment optical components. This study investigated the spectral responses of SAV in a Patos Lagoon shallow bay, by using radiometric techniques *in situ*. Although the high optical complexity of the estuarine region studied, the results allowed discriminating a vegetated shallow area from the adjacent deep waters. Under conditions of low turbidity, and moderated to high biomass coverage, the present SAV community (mainly green macroalgae) was characterized by very low albedo, distinctive reflectance in 700nm, deep absorption in 660nm and high correlation with the green/blue reflectance ratio. The low sampling size did not allowed a good resolution of the spectral response of water parameters, particularly the chlorophyll. Further studies are focusing in obtain radiometric data under several hydrological and optical conditions, with a highly distribution in space.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto, espectrorradiometria, fanerógamas submersas, macroalgas, clorofila.

1. Introdução

O Estuário da Lagoa dos Patos compreende em sua maioria áreas rasas propícias ao desenvolvimento de vegetação aquática submersa (VAS), compostas por macroalgas bentônicas (*Ulva spp*, *Cladofora spp*, *Rhizoclonium riparium*, entre outras) e fanerógamas aquáticas submersas (*Ruppia maritima*, *Zannichellia palustris*) (Copertino e Seeliger, 2010). A VAS desempenha papel importante nos processos de produção primária, ciclagem de nutrientes e estabilização de sedimentos no estuário. Aumentando a complexidade estrutural das áreas rasas, a VAS forma habitats permanentes ou temporários de proteção, alimentação e reprodução para várias espécies de invertebrados e peixes, incluindo recursos pesqueiros de grande interesse comercial. Esta vegetação apresenta alta dinâmica temporal e grande variabilidade no padrão de distribuição espacial das suas manchas, em função de condições hidrodinâmica, sedimentológica e de qualidade da água. Mudanças interanuais e interdecadais na estrutura das comunidades, com reduções de *R. maritima*, tem sido observadas em anos

de precipitações e descargas fluviais anômalas (relacionadas com ENSO) (Copertino e Seeliger, 2010). Entretanto, os estudos realizados se basearam em sua maioria em monitoramentos pontuais que são limitados na escala espacial.

A investigação sobre a extensão e distribuição espacial dos bancos vegetados submersos é extremamente complexa devido às dificuldades inerentes de acesso ao ambiente infralitoral, de visualização dos fundos bentônicos, da baixa resolução da maioria das técnicas aplicadas e da grande heterogeneidade das manchas ou faixas vegetadas. A aplicação de metodologias por sensoriamento remoto tem sido mais recentemente utilizada no estudo da VAS, de modo a obter dados sobre a extensão dos bancos, a distribuição das espécies e as variações na dinâmica espaço/temporal, com possibilidades de boas resoluções sobre a abundância (Dekker et al. 2005; Wabnitz et al. 2008; Phinn et al. 2009).

Devido a alta complexidade ótica das águas costeiras, dos diferentes tipos de estuário, das características hidrológicas locais e das diferenças de respostas entre as comunidades de VAS e suas espécies, o sucesso na aplicação desta metodologia ainda necessita de obtenção de diversos parâmetros ambientais e de estudos sobre o comportamento espectral da água e da vegetação alvo. A compreensão da resposta espectral dos diferentes componentes que interferem nas propriedades óticas da água se faz necessário para conseguir distinguir, identificar e discriminar tanto áreas vegetadas e dominadas por macroalgas ou fanerógamas quanto áreas não vegetadas. O presente estudo objetivou caracterizar o comportamento espectral da água e da vegetação aquática submersa no Estuário da Lagoa dos Patos, visando aplicações futuras no processamento, calibração e interpretação de imagens.

2. Metodologia

A área de estudo está localizada em região média do estuário da Lagoa dos Patos (Saco do Rio Grande) nas proximidades das Ilhas das Pombas e Pólvora (Figura 1). As medidas de reflectância e coleta de dados ambientais foram obtidas em 12 pontos amostrais, espalhados pela área rasa (Pombas) e profunda do canal adjacente (Canal) na data de 02/06/2010, entre as 10h10min horas e 14h50min horas. Além das áreas de diferentes profundidades (Raso= 0.40 à 0.70 m; Canal = 3 à 6m), as amostragem procurou abranger diferentes densidades de vegetação. Os pontos cobriram áreas vegetadas e áreas profundas sem vegetação como o canal.

Medidas de reflectância foram obtidas com um espectrorradiômetro portátil (*FieldSpec Hand Held*, ASD Inc., EUA), o qual obtém curvas de reflectâncias na faixa de 400 a 900 nm do espectro eletromagnético. Em cada ponto, o espectrorradiômetro era posicionado com um ângulo de 45° de inclinação em relação à vertical e a uma altura de aproximadamente 1 m acima do nível da água. Amostras de água foram coletadas de cada ponto, filtradas (Whatmann GF-F) e analisadas quanto aos parâmetros sólidos em suspensão (SS) (gravimetria) e concentração da clorofila-a (Chl-a) da coluna d'água (extração por acetona e espectrofotometria, Welschmeyer, 1994). A VAS foi coletada (quadrado destrutivo de 10 x10cm) para obtenção da biomassa seca (60°C, 48 horas) e identificação das espécies ocorrentes. Os parâmetros rugosidade da água, intensidade e direção do vento (anemômetro portátil), temperatura do ar e da água (termômetro), profundidade (régua), salinidade (refratômetro), transparência da água (Secchi) e fotografias digitais foram obtidos de cada ponto.

Os dados radiométricos coletados foram processados e analisados através da obtenção da derivativa de primeira ordem (Goodin et al. 1993), da remoção do contínuo (Clark e Roush, 1984) e obtenção das razões de bandas. Estes procedimentos visam

ressaltar feições de absorção ou espalhamento da radiação. Finalmente, foram realizadas análises de correlação (Spearman, $p > 0.05$) entre as razões de bandas (por intervalos a cada 10 nm) e as variáveis biomassa da VAS, sólidos em suspensão e Chl-a da coluna d'água.

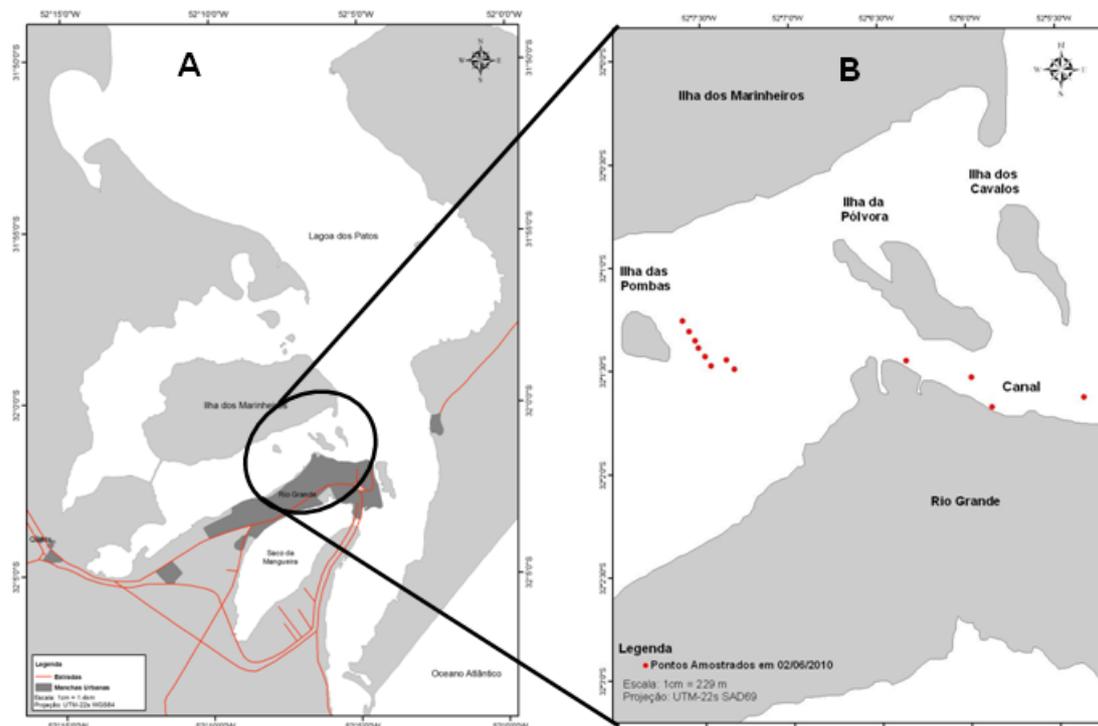


Figura 1. A) Estuário da Lagoa dos Patos. B) Localização dos pontos amostrados.

3. Resultados e Discussões

Durante o dia amostrado, o tempo estava claro e ensolarado, com baixa nebulosidade, com predomínio de ventos fracos de NE (velocidade entre $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ e $4,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). A temperatura do ar variou entre 18°C e $19,5^\circ\text{C}$. A temperatura superficial da água variou entre 15°C e 18°C . Nas áreas rasas, a água apresentou alta transparência (relativo a profundidade) e textura de baixa rugosidade (Figura 2a), enquanto que para a área de Canal a turbidez foi mais alta e a coloração predominante foi castanho escuro com textura de média rugosidade (Figura 2b).

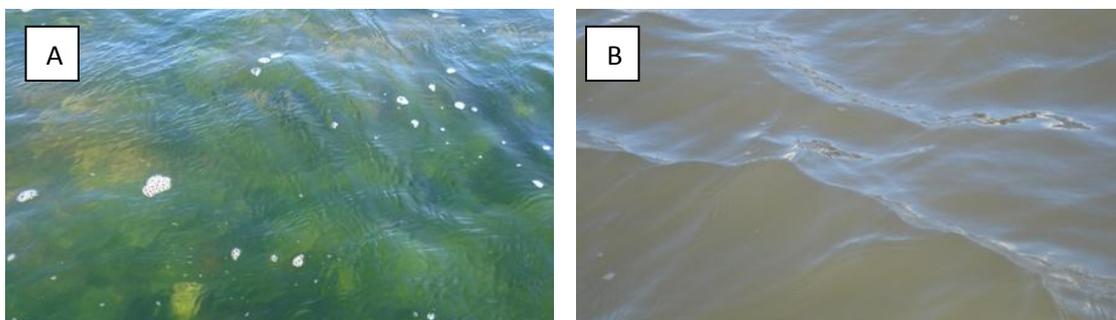


Figura 2. A) Imagens representativas dos tipos de águas amostradas. A) Áreas rasa (Pombas), com presença de VAS composta principalmente por macroalgas clorofíceas. B) Área profunda (Canal) com alta concentração de sólidos em suspensão.

As áreas rasas foram caracterizadas pela presença da VAS, dominada por massas entrelaçadas de macroalgas clorofíceas (*Ulva spp*, *Cladophora spp*), com biomassas que variaram entre 32,2 g/m² ponto até 168,41 g/m² (Figura 3). Em alguns pontos da áreas vegetadas, baixas densidades de hastes de plantas submersas (*Ruppia maritima*) foram observadas. Nesta área foi observado alta transparência (Secchi=profundidade) e os menores valores de concentração de sólidos em suspensão (10 a 44 mg/L). A concentração de clorofila na coluna d'água permaneceu abaixo de 2 µg/L, com exceção do ponto 7, o qual alcançou valores de 4 µg/L. Na área de canal foram observadas as maiores concentrações de sólidos em suspensão (30 a 80 mg/L). Na área rasa, a presença da densa vegetação submersa reduz o fluxo de água e propicia a sedimentação do material em suspensão, tornando a água menos turva nesta região.

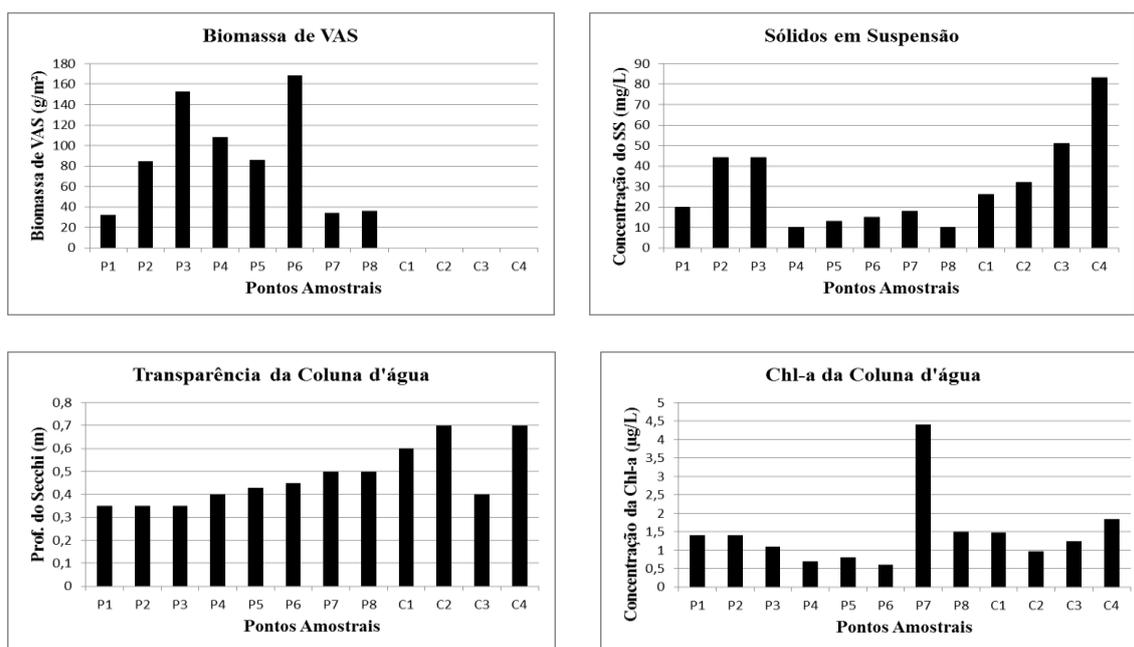


Figura 3. Variação dos parâmetros biomassa da VAS, sólidos em suspensão (SS), transparência (Secchi) e clorofila da coluna d'água (Chl), nos pontos amostrais da área rasa (P) e Canal (C).

Pelos resultados das curvas espectrais, os maiores albedos foram observados para as águas profundas do Canal e os menores para as áreas rasas (Figura 4). A expressiva diferença de resposta espectral entre estas áreas está relacionada principalmente aos parâmetros biomassa da VAS e concentração de sólidos em suspensão (Figura 3), os quais apresentaram diferenças significativas entre as duas áreas amostradas.

Nas áreas rasas, o comportamento espectral está principalmente associado à presença da VAS. A matéria orgânica presente nos densos bancos de macroalgas, os quais cobriam entre 80 a 100% dos fundos submersos rasos, contribuiu com a absorção da energia eletromagnética nestas águas. A clorofila-a da vegetação possui máxima reflectância em torno de 515 a 600 nm (verde), forte absorção entre 400 e 515 nm (azul) e 630 a 700 nm (vermelho) (Jensen, 2009). Este padrão típico pode ser observado nas curvas de reflectância obtidas nas áreas rasas vegetadas (Figura 4). Outra feição marcante da área vegetada foi o pico acentuado em aproximadamente 700 nm que segundo Corazza (2010), está relacionado com a energia refletida pela fluorescência da clorofila-a.

Para as águas profundas do Canal, a concentração de sólidos em suspensão dominou a resposta espectral. Segundo Jensen (2009) quanto maior a concentração dos sólidos em suspensão, maior é a reflectância em todos os comprimentos de onda. A

faixa de comprimento de onda do visível de 580 até 690 nm pode fornecer informações sobre o tipo de sedimento e a faixa do infravermelho próximo de 714 até 880 nm sobre a concentração dos sólidos em suspensão.

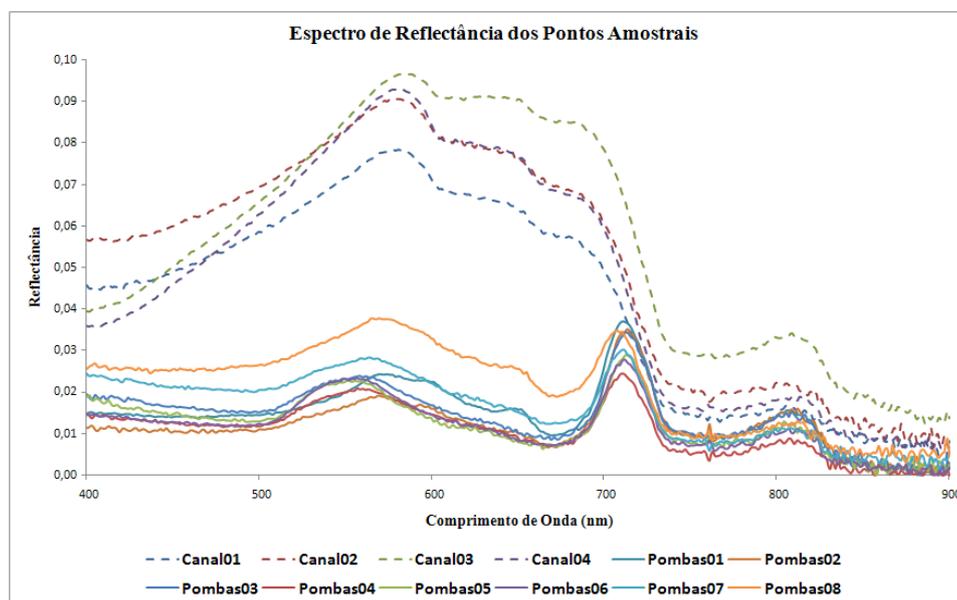


Figura 4. Curvas espectrais obtidas em pontos da área rasa vegetada (Pombas), e profunda (Canal). As menores reflectâncias são encontradas na área rasa.

O pico de reflectância das curvas espectrais do Canal está centrado em 582 nm e o ponto Canal 3 apresenta o maior albedo encontrado entre os espectros, apesar do ponto Canal 4 ter a maior concentração de sólidos em suspensão. A curva do ponto Canal-1 é a que apresenta menor reflectância entre as curvas do Canal e, assim como as curvas dos pontos Pombas 7 e 8, representam águas intermediárias entre Canal e áreas rasas (Figura 1). Na área rasa vegetada, os maiores albedos ocorreram nos pontos Pombas 7 e 8, os quais apresentaram manchas esparsas de macroalgas sobre o sedimento areno-lodoso.

A aplicação da técnica de análise derivativa de primeira ordem nos dados de reflectância permite identificar os comprimentos de onda em que apresentam maiores variações da reflectância, além de remover os efeitos da água dos espectros, ressaltando os efeitos dos sólidos em suspensão e da clorofila-a (Goodin et al. 1993). Assim, constatou-se que na faixa entre 400 nm e 560 nm o espectro apresentou uma variação positiva muito baixa e um comportamento semelhante entre todas as curvas, o que se deve a ausência de feições de absorção ou espalhamento (Figura 5).

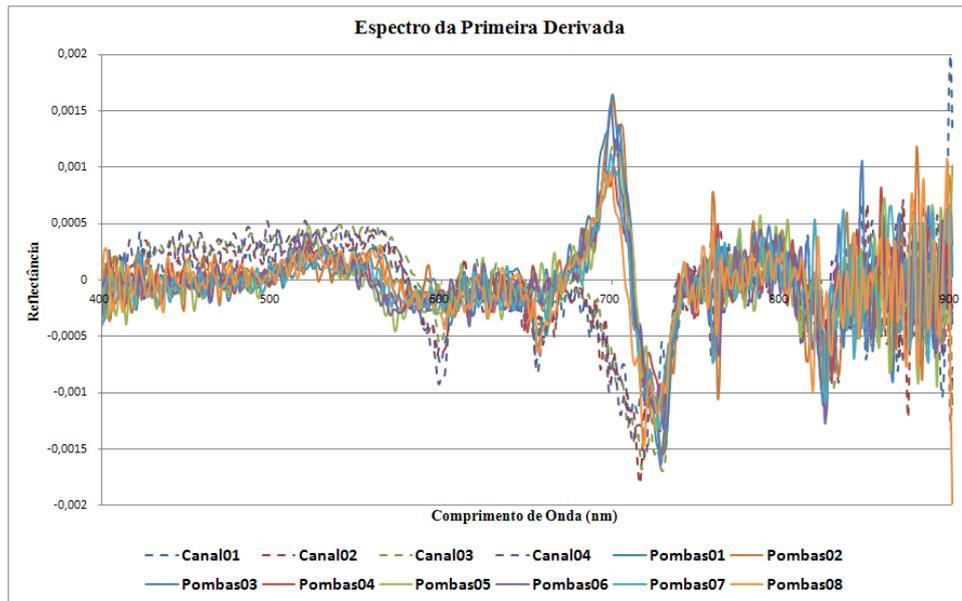


Figura 5. Curvas espectrais após obtenção da primeira derivada. Em torno de 700nm, observa-se a diferença na resposta espectral entre as águas rasas (Pombas), que apresentam variação positiva, e profunda (Canal) com variação negativa.

Aproximadamente entre 600 nm e 660 nm verifica-se uma variação negativa resultado que, segundo Corazza (2010), está relacionada com a absorção por pigmentos fotossintéticos de microalgas. Entre 680 até 719 nm há uma nítida separação entre os espectros: a variação positiva é composta por espectros da área rasa vegetada e a variação negativa pelos espectros da área profunda do Canal.

A aplicação da remoção do contínuo permite a normalização dos espectros a uma referência comum e isto facilita a identificação das feições de absorção (Clark e Roush, 1984). Observa-se a ocorrência de um realce nas feições de absorção, aproximadamente em 490, 660 e 760 nm (Figura 6). As duas primeiras feições estão associadas aos pontos amostrais das áreas rasas e refletem o comportamento espectral da clorofila da VAS. Já os pontos que apresentaram menor profundidade de absorção estão relacionados com os pontos amostrais do Canal. Devido a maior concentração de sólidos em suspensão, esta área espalha grande parte da energia recebida e apenas pequena picos de absorção são identificados nas curvas em 602 e 661 nm.

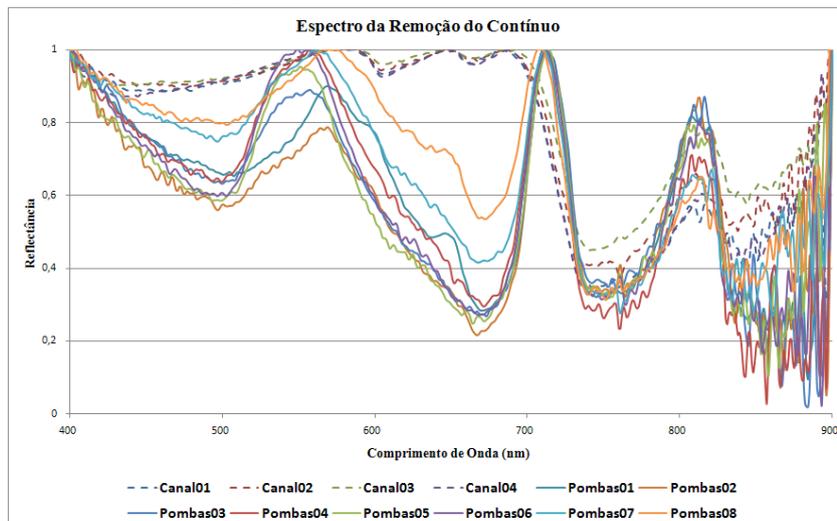


Figura 6. Espectro da Remoção do Contínuo nos pontos amostrais da área rasa (Pombas; curvas com maior absorção) e profunda (Canal; curvas com menor absorção).

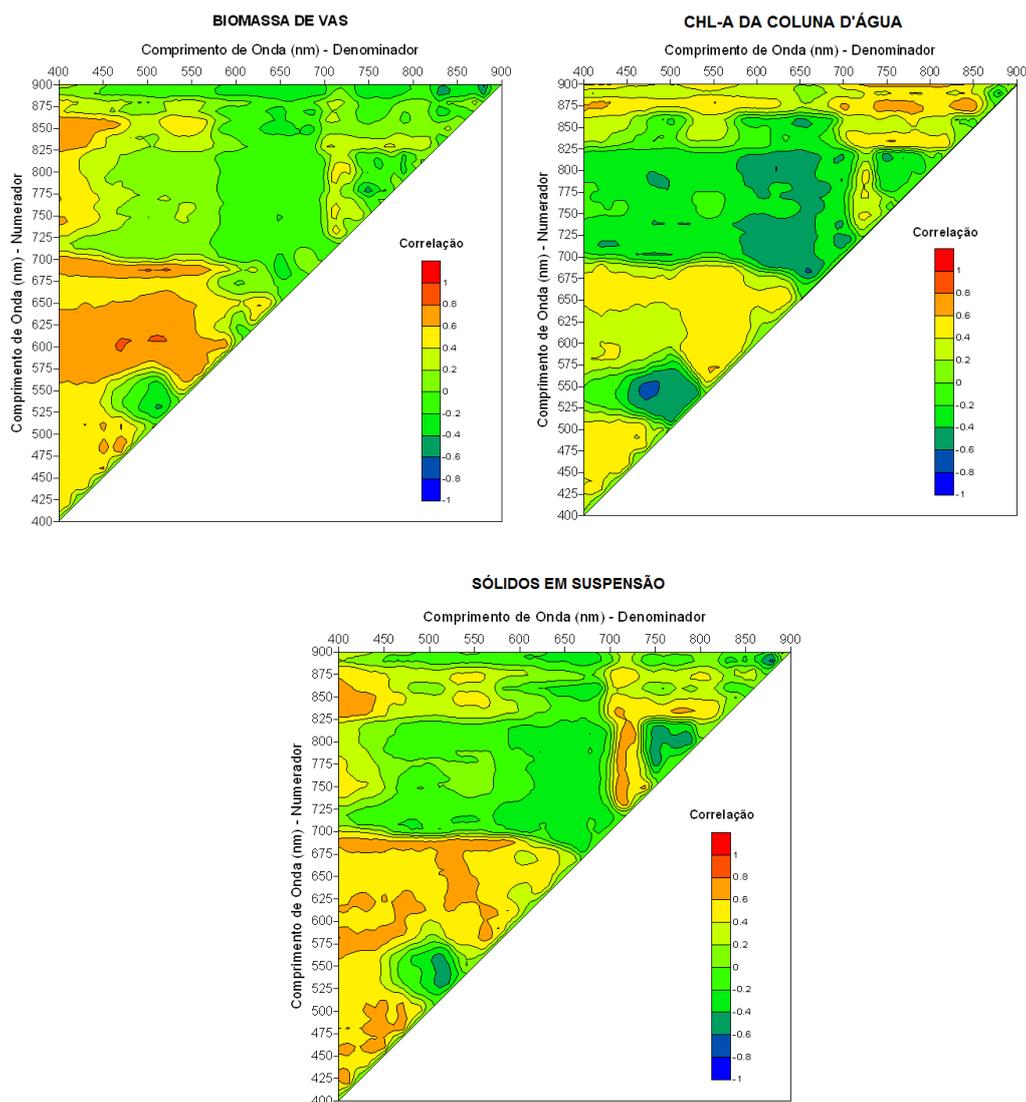


Figura 7: Diagramas de correlação entre as razões de bandas e as variáveis biomassa de VAS, Chl-a d'água e sólidos em suspensão.

Através das correlações entre as variáveis e as razões de reflectâncias das bandas, nota-se que a melhor razão de bandas para o estudo da VAS esta entre 600/450 e 600/475 nm (Figura 7). Entretanto, boas correlações também são encontradas nas razões do vermelho/azul, vermelho/verde e do infravermelho próximo/azul. A clorofila-a da coluna d'água apresentou pouca correlação com as razões, destacando-se apenas uma correlação forte e negativa com a razão 550/475nm. Estudos realizados em águas continentais encontraram correlações de 0,98 para a clorofila-a com concentração ente 5-350 $\mu\text{g/L}$ na razão 705/670 nm (Mittenzwey et al. 1992). Esta correlação não foi observada no diagrama provavelmente devido ao baixo N amostral, que não representou o espectro de variação da clorofila na região. No dia observado a concentração de clorofila-a foi baixa em todos os pontos amostrais (inferiores à 5 $\mu\text{g/L}$). Para os sólidos em suspensão são observadas boas correlações ao longo do diagrama com destaque para a razão infravermelho próximo/azul.

4. Considerações Finais

Os resultados do presente trabalho, embora ainda preliminares, permitiram caracterizar o comportamento espectral da água em uma região estuarina rasa e

vegetada, de alta complexidade quanto às propriedades óticas. Comparado a área profunda e não vegetada, e sob condições de baixa turbidez, a resposta espectral da vegetação aquática submersa (dominada por macroalgas clorofíceas) foi marcada por baixos albedos, por reflectância distinta no entorno do comprimento de onda de 700 nm e feição de absorção profunda em 660nm. A alta correlação entre a biomassa da VAS e a razão entre bandas Verde/Azul (600/450, 600/475 nm) sugere que este parâmetro radiométrico deve ser considerado dentro dos estudos da VAS por sensoriamento remoto. Entretanto, um maior número de pontos amostrais, sob diferentes condições hidrológicas e óticas, ainda necessitam ser analisados. Particularmente, deve-se focar no comportamento espectral do fitoplâncton e suas interferências sobre o sinal das macroalgas e plantas bentônicas.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Programa Peld-FURG).

6. Referências Bibliográficas

Clark, R. N.; Roush, T.L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. **Journal of Geophysical Research**. v. 89, p. 6329-6340, 1984.

Corazza, R. Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no reservatório da usina hidroelétrica Dona Francisca-RS. time-series data. 2010. 91p. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

Copertino, M.S.; Seeliger, U. Hábitats de *Ruppia marítima* e de macroalgas. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C (Org.). **O estuário da Lagoa dos Patos: Um Século de Transformações** Rio Grande: Editora FURG, 2010. Cap. 8, p. 89-98.

Dekker, A. G.; Brando, V. E; Anstee, J. M. Retrospective seagrass change detection in a shallow coastal tidal Australian lake. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, p.415 – 433, 2005.

Goodin, D.G.; Han, L.; Fraser, R. N.; Rundquist, D. C.; Stebbins, W. A.; Schalles, J. F. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution derivative spectra. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 59, p.505-510.

Jensen, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Mittenzwey, K. H.; Ullrich, S.; Gitelson, A. A. Determination of chlorophyll-a of inland waters on the basis of spectral reflectance. **Limnology and Oceanography**. v. 37, p.147-149. 1992.

Phinn, S.; Roelfsema, C.; Dekker, A.; Brando, V.; Anstee, J. Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-espectral imaging systems in Moreton Bay (Australia). **Remote Sensing of Environment**. v. 112, p. 3413-3425. 2008.

Wabnitz, C. C.; Andréfouet, S.; Torres-Pulliza, D.; Muller-Karger, F. E.; Kramer, P. A. Regional-scale seagrass habitat mapping in the Wider Caribbean region using Landsat sensor: Applications to conservation and ecology. **Remote Sensing of Environment**. v. 112, p. 3455-3467, 2008.

Welschmeyer, N. A. Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence as chlorophyll b and phaeopigments. **Limnology and Oceanography**. v. 38, p. 1985-1992, 1994.