

## Utilização de LANDSAT-TM no estudo de uma floração de macroalgas de deriva no Estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil)

Bruno Lainetti Gianasi  
Allan de Oliveira de Oliveira  
Milton Luiz Vieira Araujo  
Margareth da Silva Copertino

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

**Abstract:** Green tides, formed by fast growing opportunist algae, may cause several negative impacts to coastal ecosystems. During late winter 2010, thick blooms of drift macroalgae were observed occurring in several shallow areas of Patos Lagoon estuary. Due to its ecological importance, a field survey and a satellite image (LANDSAT-TM) analysis were conducted in order to investigate the occurrence, distribution and extension of the bloom. The field data was obtained in the same day (September 7<sup>th</sup>, 2010) and three days after the satellite imagery. Macroalgal percentage cover, abundance and digital images were obtained in 14 GPS located points within the shallow bay. Samples were also collected for species identification. During image processing and analyses, several supervised and no-supervised classification methods were trialled and the Normalized Digital Vegetation Index (NDVI) was applied. The results showed a bloom formed mainly by filaments of *Rizoclonium* spp and *Cladophora* spp, with biomasses up to 0.6 kg. m<sup>-2</sup>. In some shallow banks and margins, the green tide formed a continuous mat throughout the water column, with biomasses up to 30 kg. m<sup>-2</sup>. The Fisher supervised classifier achieved the best separation between classes of vegetated and no vegetated bottoms. The distribution obtained by NDVI allowed detecting the emerged floating algae of those later dense accumulations. The field data and remote sensing based results of the present study showed the extension and distribution of one of the largest green tide that has occurred in Patos Lagoon estuary during last decade.

**Palavras-Chave:** Macroalgal bloom, submerged aquatic vegetation, processamento de imagem, NDVI.

### 1. Introdução

Florações de macroalgas de deriva ou “marés verdes” são caracterizadas por acumulações densas e vastas de macroalgas flutuantes de crescimento rápido e caráter oportunista, dominadas geralmente por espécies de *Ulva*, *Cladophora* e *Chetomorpha*, (Liu et al. 2009). Tais florações são normalmente associadas com ambientes eutróficos ou eutrofizados e são afetadas por condições locais de hidrodinâmica e regime de vento, podendo acarretar consequências ecológicas negativas para o ambiente como aumento da turbidez da água (devido ao arrasto com o fundo), inibição do crescimento de fanerógamas submersas e do microfítobentos, anoxia da camada superficial do sedimento, etc (Canal-Vérges et al. 2010).

No Estuário da Lagoa dos Patos, macroalgas do gênero *Ulva*, *Cladophora* e *Rhizoclonium* são importantes produtores primários que crescem diretamente no sedimento não consolidado das áreas rasas (entre 0.2 e 1m), principalmente no inverno e primavera, sendo eventualmente suspensas na coluna d’água por correntes e ventos. Sob condições de moderada a alta hidrodinâmica, parte das massas de algas é normalmente dispersadas e transportadas para zonas mais profundas e para a região costeira adjacente, reduzindo o acúmulo prolongado nessas áreas rasas. Em setembro de 2010, densas massas de macroalgas de deriva foram avistadas em diversas áreas rasas do

Estuário da Lagoa dos Patos. Enquanto a abundância das algas (biomassa e percentual de cobertura) tem sido registrada em estudos prévios (Coutinho, 1982; Copertino e Seeliger, 2010), a distribuição e extensão dos acúmulos ainda não foram propriamente estudadas. Trabalhos utilizando técnicas de sensoriamento remoto para identificação da extensão dessa vegetação têm sido aplicados de forma eficiente em áreas costeiras e estuarinas (Dekker et al. 2005; Phinn et al. 2008).

Devido à importância ecológica das pradarias para as regiões estuarinas o presente trabalho objetiva quantificar a abundância e extensão de uma floração de maré verde no ELP, através de análises de imagens LANDSAT e medidas *in situ* das macroalgas.

## 2. Metodologia

*Área de estudo.* O estuário da Lagoa dos Patos é ocupado por uma grande proporção (70%) de áreas rasas e protegidas, propícias ao desenvolvimento de vegetação aquática submersa (VAS). O local de estudo está localizado no Saco do Rio Grande, na proximidade das Ilhas das Pombas e Pólvora (Figura 1). A escolha deve-se a quantidade de informações prévias sobre as pradarias neste ambiente, já que a região integra a área de monitoramento do Programa de Estudos Ecológico de Longa Duração (PELD) da FURG.

*Obtenção dos dados.* A observação da vegetação aquática submersa e a obtenção de seus parâmetros biológicos foram realizados nos dias 7 e 10 de setembro de 2010. A extensão da floração de macroalgas foi registrada através de circunavegação e marcação dos limites da pradaria. Ainda foram coletados dados de percentual de cobertura das algas (senso visual), amostras de biomassas (quadrados destrutivos 10 x 10 cm) em 14 pontos da região do Saco do Rio Grande (Figura 1). Fotos digitais foram obtidas de diversos pontos das áreas rasas vegetadas. As biomassas foram lavadas e triadas em laboratório, separadas entre plantas e macroalgas, e o peso seco (PS) obtido em estufa (60°C por 48 horas). Foram separados vouchers para identificação taxonômica das espécies de macroalgas ocorrentes.

*Processamento da imagem.* Uma imagem do satélite LANDSAT 5/TM (*Thematic Mapper*), obtida para o ELP na data de 07/09/2010 (INPE), foi utilizada para este estudo. Foram usadas as bandas que possuem informações entre o intervalo espectral de 0.45  $\mu\text{m}$  até 0.90  $\mu\text{m}$  (bandas 1, 2, 3 e 4), as quais apresentam boa penetração em corpos de água, absorção pela clorofila, sensibilidade ao sedimento em suspensão e auxílio no mapeamento de rede hidrográfica. Essas imagens foram processadas no *software* IDRISI ANDES<sup>®</sup> para realização de correções geométricas, radiométricas e atmosféricas. A imagem foi corrigida geometricamente por uma imagem da mesma área fornecida pela University of Maryland de 12/11/2002, com projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*) e Datum WGS 84. Para as correções radiométricas e atmosféricas foram utilizadas constantes de calibração propostas por Chander et al. (2009). Devido a presença de neblina em uma faixa do estuário da Lagoa dos Patos, a imagem precisou ser recortada e apenas a região livre do nevoeiro foi analisada. Posteriormente, foram aplicados os métodos de classificação supervisionada (distâncias mínimas, máxima verossimilhança, paralelepípedo e Fisher), classificação não supervisionada e aplicação do índice de vegetação NDVI (Rouse et al. 1973). Obtido a partir da reflectância na faixa da radiação do infravermelho próximo e vermelho, o índice de vegetação NDVI (que pode variar de -1 a +1) reflete diversas características da vegetação como cobertura, tipo de vegetação, teor de água, biomassa e produtividade (Machado, 2003). Por fim, o *software* de informações geográficas ARCGIS 9.3.1<sup>®</sup> foi utilizado para edição final dos mapas.

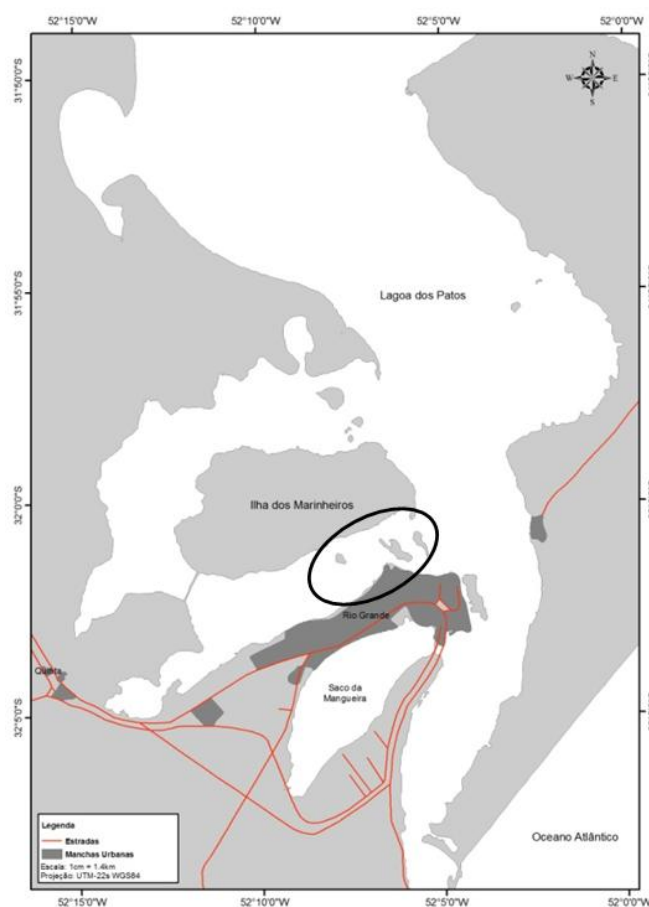


Figura 1: Mapa do Estuário da Lagoa dos Patos. O círculo indica área amostrada.

### 3. Resultados e Discussões

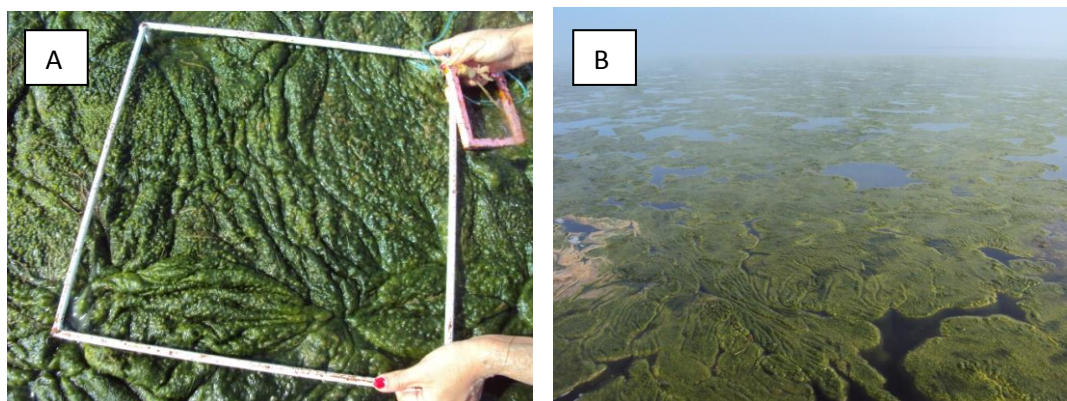
A extensa maré verde foi observada nas primeiras semanas do mês de setembro, com o pico de abundância entre os dias 7 e 10 de setembro, sendo dominada por espécies das clorofíceas *Rizochlonium*, *Cladophora* e *Ulva*. Com menores abundâncias foram observadas a xantofíceia *Vaucheria longicaulis* e diversas cianofíceas. Neste dias, o fundo das áreas rasas amostradas apresentou valores de cobertura entre 80 a 100%. As biomassas registradas para o dia 10 de setembro apresentaram valores entre 347 g PS/m<sup>2</sup> e 638,33 g PS/m<sup>2</sup>, em locais onde a vegetação ocupava uma camada de 10 a 15 cm sobre o sedimento. Em determinadas margens e bancos, os acúmulos ocupavam toda a extensão da coluna d'água (50 a 70 cm), com massas densas flutuantes e presença de inúmeras bolhas de gases aprisionados entre os filamentos entrelaçados (Figura 2a). Nestas áreas, estima-se que as biomassas alcançaram valores entre 17 e 32 kg PS/m<sup>2</sup>. Estudos realizados por Cafruni (1983) com VAS no ELP registraram, durante seu pico de desenvolvimento, valores que podem atingir entre 120 g PS/m<sup>2</sup> até 1000 g PS/m<sup>2</sup>. Os fatores relacionados para as grandes biomassas encontradas podem estar relacionados a alta disponibilidade de nutrientes, principalmente sob condições favoráveis de temperatura e hidrodinâmica.

As condições meteorológicas (brisa fraca, sem nuvens) e hidrológicas (calmaria, baixa turbidez) no dia de obtenção da imagem (7 de setembro) foram favoráveis para a obtenção e interpretação da imagem de satélite. Observam-se na imagem faixas horizontais que ocorrem por problemas de escaneamento da área pelo satélite e, apesar

das tentativas de correção, não obtivemos resultados satisfatórios (Velasco et al. 2007). Entretanto, este não prejudicou a análise final do resultado da distribuição das algas suspensas. Dentre os processos de classificação testados na imagem, o que melhor mostrou representou a distribuição da vegetação aquática submersa nesta data foi a classificação supervisionada pelo método de Fisher (Figura 5). Este classificador é baseado na análise de discriminantes, técnica que utiliza padrões das áreas de treinamento para extrair as características mais relevantes (Müller et al. 1999). Com exceção do entorno do Porto de Rio Grande e da boca do Saco da Mangueira, o classificador representou bem a distribuição nas áreas, de acordo com as observações e dados coletados em campo (Figura 5). Além disso, foi observada uma distribuição ampla e contínua da floração na região estudada, e por esse classificador, estima-se aproximadamente 30 km<sup>2</sup> de área coberta pela floração.

Através da aplicação do índice de vegetação (NDVI), foi possível identificar grandes acúmulos de biomassas suspensas na superfície e, portanto, emersas (Figura 7). Valores positivos deste índice indicam áreas que apresentam grande biomassa vegetal e, áreas sem biomassa, possuem valores negativos ou nulos. Alguns estudos demonstram que os valores calculados para o NDVI decrescem conforme aumenta os níveis de inundação da área, não sendo considerado bom indicador para vegetações aquáticas, mesmo em pequenas profundidades (Beget et al. 2007). Este fato pode ser constatado no presente trabalho. Entretanto o método foi significativamente satisfatório para descrever a extensão e os limites dos acúmulos que apresentaram biomassas emersas, as quais se acumularam nas margens sul das áreas analisadas, de exposição aos ventos do quadrante N e NE.

A densidade e extensão da maré verde observada no estuário da Lagoa dos Patos em setembro foi algo marcante, comparado aos eventos passados de floração de algas de deriva nesta região. O rápido incremento na biomassa dessas macroalgas oportunistas está relacionado com a eficiência fotossintética e de captação de nutrientes, o que proporciona altas taxas de produtividade diária (Liu et al. 2009). Além das altas taxas de crescimento e da rápida propagação vegetativa destas algas é estimulada por fragmentação dos talos e por alterações nas condições ambientais (dessecação, variação de nutrientes, aumento de luz e temperatura), com liberação intensa de esporos (reprodução assexuada) e gametas (reprodução sexuada) na coluna d'água. Sob condições propícias de nutrientes, luz e movimento da água, estas estruturas se estabelecem sobre o sedimento das áreas rasas e sobre as folhas de pradarias de fanerógamas, germinando e crescendo rapidamente.



**Figuras 2.** As Imagens da maré verde formada por macroalgas clorofíceas ocupando toda a extensão da coluna d'água (70 cm) e com biomassas flutuantes na superfície. A) Quadrado amostral (50 x 50 cm) para obtenção do % de cobertura. B) extensão do banco de algas suspensas.

Extensas marés verdes, como a observada no presente trabalho, são caracterizadas por diminuírem o fluxo da água. Por ação das marés e dos ventos os grandes acúmulos são arrastados e depositados na costa, podendo causar destruição de habitats e perdas econômicas para a indústria pesqueira (Nelson et al. 2008). A região da Lagoa dos Patos é representada por frequentes e fortes ventos do quadrante NE entre setembro e abril, e por ventos do quadrante SW entre maio e outubro. Estes controlam a circulação, a distribuição de salinidade, o nível da lagoa (Garcia, 1998), assim como a composição, abundância e transporte das macroalgas (Seeliger et al. 1998). As correntes e ondas formadas por ventos promovem a suspensão da vegetação na coluna d'água e o seu deslocamento pelas áreas rasas, propicia acúmulo nas margens e, eventualmente, a sua exportação para águas profundas. Quando em grandes densidades, como neste evento, pode ocorrer inibição do crescimento de fanerógamas enraizadas, devido à redução da luz, competição por nutrientes e arrasto de plantas. Altas densidades de hastes e rizomas de *R. maritima* foram observados flutuando junto com as macroalgas, sugerindo que esta intensa maré verde interrompeu o estabelecimento e crescimento das pradarias no estuário. As conseqüências para o equilíbrio das populações e para a modificação das suas funções no ecossistema ainda necessitam ser avaliadas. Em outros estuários eutrofizados do mundo, formação de intensas marés verdes modificam os fatores físico-químicos e biológicos do ambiente aquático, alterando a dinâmica de nutrientes, promovendo anoxia das camadas superficiais do sedimento, hipoxia da coluna d'água, mortalidade de organismos bentônicos e redução da biodiversidade (Marques et al. 2008).

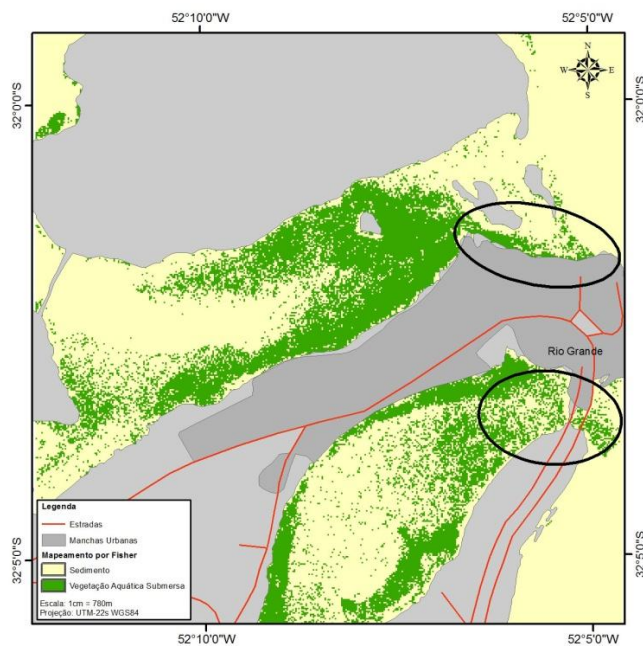


Figura 5. Distribuição da vegetação aquática submersa na área de estudo, de acordo com a classificação supervisionada pelo método Fisher.

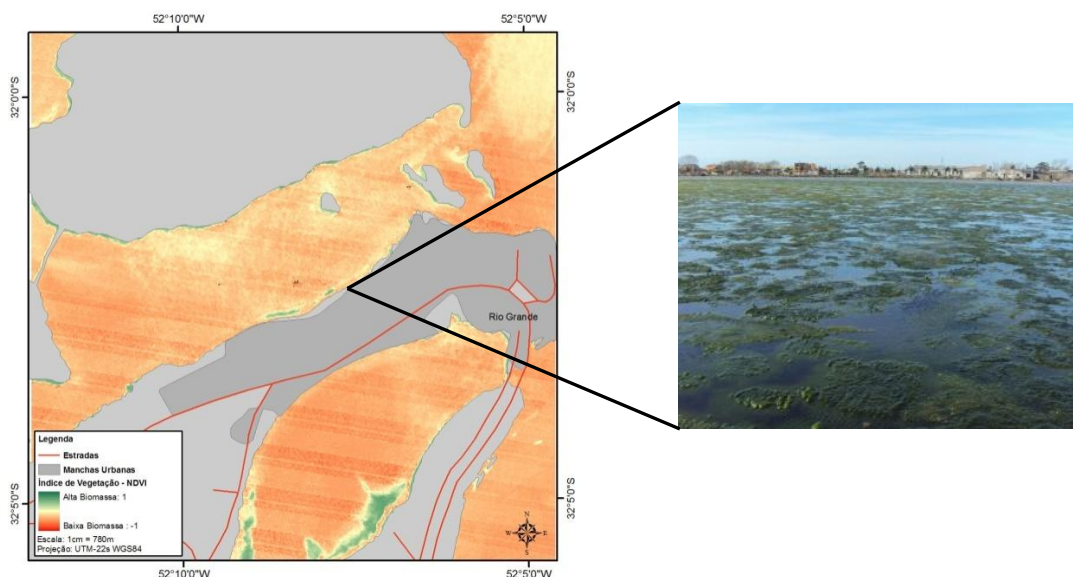


Figura 7. Resultado da aplicação do índice de vegetação NDVI, a qual conseguiu mapear de forma eficiente as macroalgas suspensas na superfície da água.

## Considerações Finais

Os resultados do presente trabalho permitiram estudar uma das maiores (se não a maior) marés verdes que ocorreram no estuário nos últimos 10 anos. A aplicação de sensoriamento remoto, com a utilização do método de classificação supervisionada, permitiu avaliar a extensão e distribuição dos acúmulos de algas, fornecendo informações imprescindíveis para a compreensão da ecologia destas formações e para identificar a escala dos potenciais impactos negativos. O índice NDVI foi útil para delimitar os acúmulos onde a camada superficial está emersa. A técnica, entretanto é deficiente para o estudo das biomassas submersas, mesmo a poucos centímetros da superfície. Outros fatores ainda serão analisados, como as condições meteorológicas, hidrológicas e os parâmetros físico-químicos da água, os quais devem ter influenciado a formação desta floração anômala. A compreensão do comportamento espectral da água e da VAS, através de estudos radiométricos *in situ*, está sendo realizada, a qual poderá contribuir e aprimorar significativamente a interpretação das imagens.

## Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo programa Pesquisas Ecológicas de Longa Duração da FURG (PELD, CNPq), Rede CLIMA- Zonas Costeiras (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS, BIC)

## Referências Bibliográficas

- Beget, M. E.; Di Bella, C. M. Flooding: The effect of water depth on the spectral response of grass canopies. **Journal of Hydrology**, v. 335, p. 285-294. 2007.
- Cafruni, A. M. S. Estudo autoecológico de *Ruppia marítima* no estuário da Lagoa dos Patos. 1983. 64p. Dissertação de mestrado (Mestrado em oceanografia biológica). Universidade Federal do Rio Grande. 1983.
- Canal-Vergés, P.; Vedel, M.; Valdemarsen, T.; Kristensen, E.; Flindt, M. R. Resuspension created by bedload transport of macroalgae: Implications for ecosystem functioning. **Hydrobiologia**. v 649, p 69-76, 2010.

Chander, G.; Markham, B.L.; Helder, D.L. Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. **Remote Sensing of Environment**. v.113, p.893–903, 2009.

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.

Coutinho, R. Taxonomia, distribuição, crescimento sazonal, reprodução e biomassa de algas bentônicas no estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul. 1982. 232 p. Dissertação ( Mestrado em oceanografia biológica). Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. 1982.

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.

Garcia, C. A. E. Características hidrológicas. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C.; Castello, J. P. (Org.). **Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo Sul do Brasil**. Rio Grande: Ecoscientia, 1998. Cap.4.3, p. 18-21.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 30/09/2010.

Liu, D.; Keesing, J. K.; Xing, Q.; Shi, P. World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, p. 888 -895, 2009.

Machado, H. M. Determinação da biomassa da cana-de-açúcar considerando a variação espacial de dados espectrais do satélite Landsat7 ETM+. 2003. 74 p. Dissertação (Mestre em engenharia agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

Marques, L. V.; Creed, J. C. Biologia e ecologia das fanerógamas marinhas do Brasil. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p.315-331, 2008.

Müller, S. I. M. G.; Dalmolin, Q.; Araki, H. Comparação entre os métodos de máxima verossimilhança, distância mínima e o método de Fisher para reconhecimento de padrões em imagens coloridas. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 4, p.3-13, 1999.

Nelson, T. A.; Haberlin, K.; Nelson, A V.; Ribarich, H.; otchkiss, R.; Van Alstyne, K. L.; Buckingham, L.; Simunds, D. J., Fredrickson, K. Ecological and physiological controls of species composition in green macroalgal blooms. *Ecology*. v. 89, p. 1287-1298, 2008.

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-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia). **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3413–3425. 2008.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, D. C., 1973. Proceedings. Washington, D. C.: NASA.Goddard Space Flight Center, 1973. v. 1, p. 309- 317. (NASA SP-351).

Seeliger, U; Odebrecht, C; Castello, J.P (Eds). **Os ecossistemas costeiros e marinhos do extremo sul do Brasil**. Rio Grande: Ecoscientia, 1998. 341p.

Velasco, G. D. N.; Polizel, J. L.; Coltri, P. P.; Lima, A. M. L. P.; Silva Filho, D. F. Aplicação do índice de vegetação NDVI (NormalizedDifferenceVegetation Index) em imagens de alta resolução no município de São Paulo e suas limitações. **Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. v. 2, número 3, 2007.