

Dinâmica da biomassa na lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, a partir de imagens de NDVI

Juliane Beatriz Lissner¹
Laurindo Antonio Guasselli¹

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEA)
Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia, Porto Alegre, RS, 91509-970, Brasil
jujubl85@yahoo.com.br
laurindo.guasselli@ufgrs.com.br

Abstract. The study tried to identify through the use of remote sensing the dynamics of Itapeva lagoon (northern coast of Rio Grande do Sul) using information from the principal agents of hydrodynamics, and in particular the chlorophyll parameter through the NDVI images. We tried to obtain a correlation between chlorophyll data from the water analysis collected in Itapeva lagoon and the spectral response pattern by sensors Landsat TM5 and ETM+7. Some images were used to cover the period from 1985 to 2010, generating a Time Series Analysis (TSA) that allowed to understand dynamics and seasonal patterns. The study results show that orbital systems like Landsat can be used to monitor water parameters and the spatial distribution of the concentration of substances such as chlorophyll, obtaining a significant correlation between different sources of information. A pattern of seasonal dynamics of the lagoon can be established with the remote sensing a useful tool for monitoring the trophic status of lakes based on phytoplankton density and establish correlations between reflectance and chlorophyll concentrations. This study, however, refers to preliminary results using only the information contained in images generated by the TSA. Later, we will then performed correlations between information obtained from the images of NDVI and the analysis of water samples collected in the Itapeva lagoon.

Palavras-chave: Remote sensing, chlorophyll, water dynamic.

1. Introdução

A demanda crescente pelo uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na análise de parâmetros de qualidade da água amplia e agiliza as possibilidades de mecanismos voltados para a gestão dos recursos hídricos, pois apresenta grande potencial para o monitoramento da qualidade da água em escala temporal e espacial.

As imagens orbitais adquiridas por diferentes tipos de satélite podem ser uma ferramenta útil para a avaliação da distribuição espacial e da fragilidade dos ambientes naturais.

Conforme Martini *et al* (2006), os corpos hídricos são componentes que apresentam potencial para aplicações práticas de sensoriamento remoto, tanto pelas suas facilidades em interagir com a energia eletromagnética como pela sua importância estratégica.

De acordo com diversos estudos, lagoas que apresentam reduzidas profundidades máximas, como no caso a lagoa Itapeva, são mais vulneráveis ao processo de eutrofização. Esse processo é acelerado pelas atividades antrópicas e gera uma tensão entre ambientes ocupados pelo homem e os sistemas hídricos conectados a eles.

De acordo com Londe *et al* (2005) apesar das vantagens, há poucos estudos voltados para a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em estudos de águas interiores, comparando-se a outros ecossistemas. Também são poucos os estudos realizados nas lagoas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, articulando parâmetros de qualidade da água e sensoriamento remoto.

A análise da biomassa é uma importante variável em ecossistemas aquáticos uma vez que representa a quantidade de energia estocada em certo nível trófico da comunidade biológica (Becker, 2002) e possui uma grande correlação com a hidrodinâmica da lagoa.

Estudos que integram ferramentas de sensoriamento remoto e a análise de séries temporais de imagens de satélite mostram-se extremamente úteis para a compreensão da evolução ambiental devido a disponibilidade de dados e de imagens facilitando o monitoramento espacial e temporal da área em estudo.

Neste sentido, o presente estudo busca aplicar técnicas de sensoriamento remoto para compreender a dinâmica espacial e temporal da lagoa Itapeva através de análise de séries temporais de imagens NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) analisando a distribuição da biomassa. Os resultados obtidos até o momento possibilitam identificar as áreas de maior dinâmica na lagoa, e posteriormente, os resultados obtidos através da análise das amostras de água coletadas na lagoa de clorofila e totais de sólidos serão correlacionados com o padrão de resposta espectral detectado pelos sensores remotos Landsat TM5 e ETM+7.

1.1 Características da lagoa Itapeva

A lagoa está localizada no Brasil, no estado do Rio Grande do Sul, situada no litoral norte do estado. A lagoa Itapeva tem como limites o Oceano Atlântico a leste, e a encosta da Serra Geral a oeste e no sentido norte-sul estende-se do Município de Torres até o Município de Osório, conforme nos mostra a Figura 1.

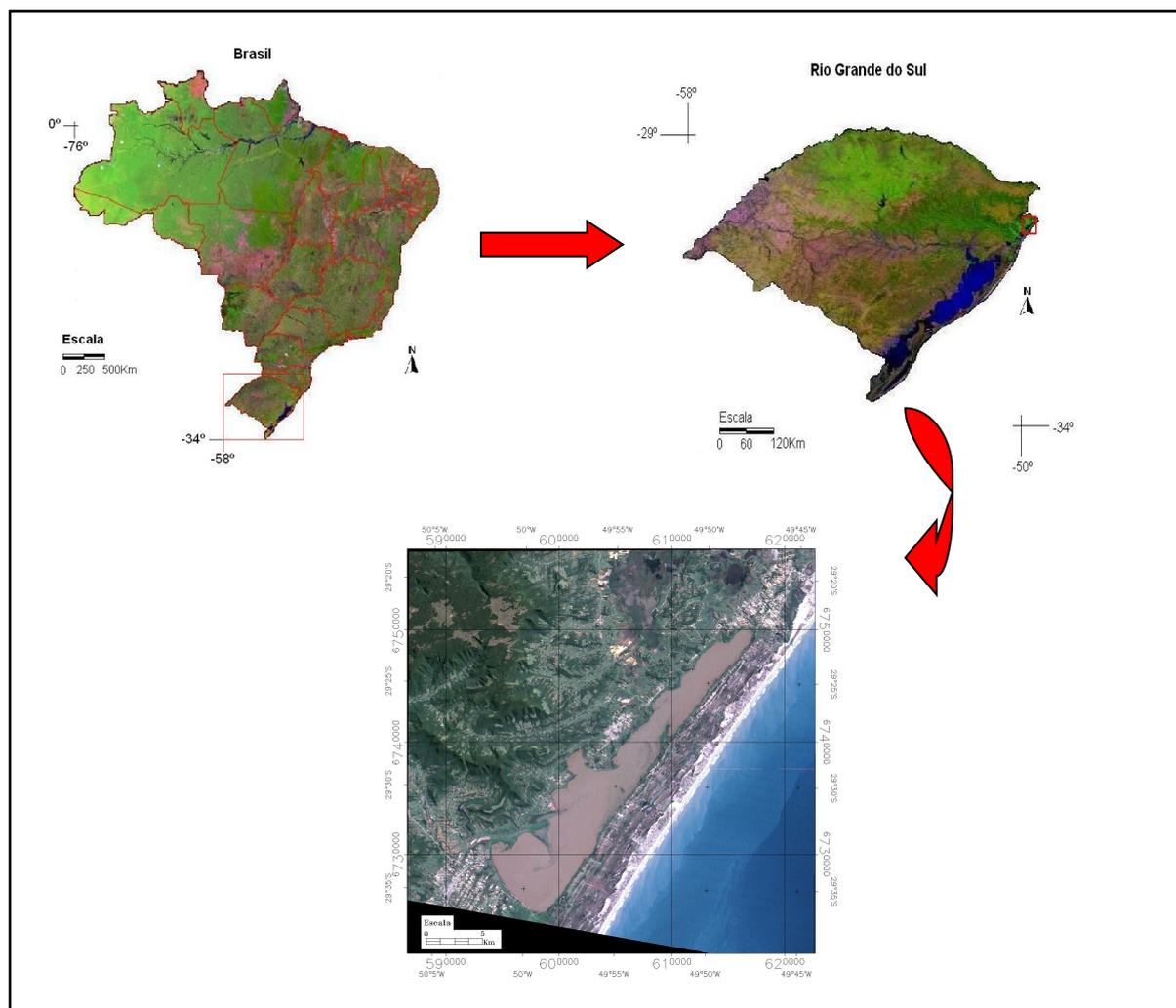


Figura 1. Mapa de localização da Lagoa Itapeva

O litoral do Rio Grande do Sul se constitui em uma vasta área de terras baixas com cerca de 700 km de extensão e 120 km de largura, e em sua maior parte, é ocupada por um enorme sistema de lagoas costeiras.

A lagoa Itapeva encontra-se sob o domínio dos sedimentos costeiros, cuja superfície tem elevada permeabilidade, o que facilita a recarga dos aquíferos livres. O sedimento é essencialmente arenoso, incluindo horizontes de conchas calcárias que podem influenciar na composição química da água subterrânea.

No lado oeste da lagoa predominam as rochas vulcânicas e pode-se considerar que a recarga de água neste lado é de 80% do total da recarga recebida, devido aos seus afluentes que possuem suas nascentes na encosta da serra e pela delimitação do seu divisor de águas e sua bacia de drenagem estar em maior parte situada nesta área.

O clima predominante no Rio Grande do Sul é o clima subtropical, correspondente ao clima do tipo Cfa conforme a classificação de Koeppen, caracterizado por um clima temperado chuvoso, com chuvas distribuídas regularmente durante todo o ano e temperatura do mês mais quente superior a 22 °C, e para o mês mais frio temperaturas superiores a 3 °C.

Conforme estudos mais recentes de Lopardo (2002), a área total corresponde a 124,75 km², e um volume de 245,5 x 10⁶ m³ em maior parte da sua extensão a lagoa não possui uma profundidade maior que 1,5 metros. Em relação ao seu eixo longitudinal, Cardoso (2001) afirma que a lagoa possui uma grande extensão, chegando a aproximadamente 31 km de extensão.

As lagoas costeiras possuem em geral reduzidas profundidades máximas e relativas, e os movimentos da água são fortemente influenciados pelas mudanças no tempo, os quais promovem também mudanças na distribuição, quantificação e diversidade do plâncton.

No que diz respeito à dinâmica da lagoa Itapeva, Cardoso (2001), comprovou a regência da hidrodinâmica sobre as comunidades fitoplanctônicas, sendo o vento o principal fator determinante da dinâmica na lagoa. As variáveis hidrológicas, como nível da água e velocidade de fluxo, também exibiram uma variação espaço-temporal intimamente relacionada com a ação do vento e com a comunidade planctônica, influenciando também na elevada turbidez do ambiente, provocado pela ressuspensão dos sedimentos.

1.2 Comportamento espectral da clorofila na água

De acordo com Arraut *et al* (2005), o fitoplâncton é um grupo heterogêneo composto principalmente por algas fotossintetizantes que se distribuem por grande parte dos ambientes marinhos e aquáticos continentais pelo mundo. O uso de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação e monitoramento de recursos hídricos teve início com tentativas de detecção de clorofila-a e como parâmetro de quantificação de biomassa (Londe *et al*, 2005).

No que se refere aos pigmentos fitoplanctônicos, verifica-se uma variedade significativa dentro de um corpo de água. Alguns exemplos de pigmentos fotossintetizantes são as clorofilas a, b, e c e os carotenóides, no entanto, dentre os pigmentos dos diferentes grupos de organismos que fazem fotossíntese e desprende oxigênio, o principal responsável pela absorção de energia luminosa é a clorofila.

A interpretação dos espectros de reflectância e absorção da água e de seus componentes opticamente ativos servem como base para a avaliação e monitoramento do estado trófico de ambientes lênticos utilizando-se apenas métodos de sensoriamento remoto. Para estes fins são comparados os dados do sensor remoto (Landsat, por exemplo) com os sedimentos inorgânicos em suspensão na água e os pigmentos biológicos (clorofila, e clorofila+feofitina). Desta forma, passam a se estabelecer relações entre a concentração de clorofila e clorofila+feofitina e a resposta espectral obtida pelo satélite. As correlações encontradas variam conforme a concentração de clorofila, e pela composição dos pigmentos do fitoplâncton, tanto que podem variar sazonalmente e espacialmente.

A clorofila-a possui dois picos de absorção, uma no azul em 0,433 μm e outro no vermelho em 0,686 μm , conforme Londe *et al* (2005), conforme a figura 2.

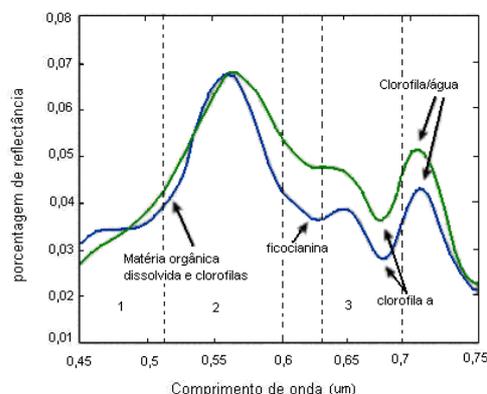


Figura 2. Influência da clorofila e da matéria orgânica na reflectância da água

Fonte: Londe *et al* (2005).

Após o estabelecimento da correlação da reflectância da luz com os valores da concentração de clorofila-a, obtém-se uma ferramenta muito útil para o biomonitoramento de ambientes aquáticos, baseado na densidade do fitoplâncton.

2. Materiais e métodos

Foram adquiridas imagens multiespectrais do sensor TM, do satélite Landsat em todas as bandas espectrais a partir do banco de imagens disponível no endereço eletrônico do DGI/INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDRS>).

As imagens do sensor Landsat foram utilizadas devido a sua boa resolução espacial, 30 metros; e temporal, 16 dias. As imagens correspondem a órbita-ponto 220-80.

Para o pré-processamento das imagens foi realizado o georeferenciamento para a imagem da data 04/09/00 através de interpolação de pontos utilizando como base as Cartas Topográficas do Exército de Três Cachoeiras, projeção UTM (*Transversa Universal de Mercator*) e Datum Córrego Alegre, na escala numérica de 1:50.000. Nas demais imagens, o georeferenciamento foi realizado de imagem para imagem, utilizando como base a imagem já georeferenciada da data de 04/09/00. Para minimizar os efeitos atmosféricos nas imagens, foi realizada a correção atmosférica, aplicando-se o método DOS (*Dark Object Subtraction*) desenvolvido por Chávez (1989).

Após o pré-processamento, as bandas 3 e 4 das imagens de satélite foram importadas para o *software* Idrisi, onde foi aplicado sob as imagens o NDVI.

A aplicação da equação de NDVI irá ressaltar a diferença normalizada da vegetação, isto é, irá ressaltar a presença de biomassa no corpo d'água. Os valores dos pixels oscilam entre -1 e +1, os valores negativos correspondem a presença de água (lagos, rios, etc) e valores positivos representam uma vegetação exuberante, grande quantidade de biomassa.

A equação do NDVI (Equação 1) segundo Rouse *et al* (1973):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IV.P.} + \text{V}}{\text{IV.P.} - \text{V}} \quad (1)$$

Onde IV.P = comprimento de onda do infravermelho próximo;

V = comprimento de onda do vermelho.

Para a geração da Análise de Séries Temporais (TSA), gerou-se um arquivo de dados, onde as imagens foram organizadas de acordo com a sua data e subdivididas pelas estações do ano. Após gerar o arquivo, os valores dos pixels das imagens de NDVI foram convertidos para valores de números binários.

A TSA foi desenvolvido para a Análise de Componentes Principais (PCA) de sequências de imagens de satélites normalmente armazenadas em formato binário, em tons de cinza variando entre os valores de 0 (zero) a 255, por isso a necessidade da conversão dos valores.

Após a geração das tabelas de Excel da TSA, foram destacadas as imagens que tiveram maior contribuição em cada estação do ano, gerando uma classificação de acordo com os valores dos pixels, que podem ser observados na figura 4, na legenda dos mapas, onde estão as classes e os intervalos dos valores dos pixels.

Para a posterior obtenção de correlações entre os níveis de clorofila e o padrão da resposta espectral detectada pelos sensores e analisada através das imagens de satélite, foi realizada uma expedição de campo no dia 18 de outubro de 2010, para a coleta de amostras de água da lagoa Itapeva, as quais foram entregues e estão em análise no Laboratório do Centro de Ecologia da UFRGS. O relatório relativo a análise das amostras de água ainda está em aguardo.

Foram coletadas 12 amostras em toda a extensão da lagoa, em 6 pontos, priorizando os locais de maior dinâmica da lagoa. Nos pontos onde foram realizadas as coletas de água foram coletadas as coordenadas geográficas através do GPS Garmim, modelo GPS MAP 76.

3. Resultados

Através das imagens geradas, podemos observar que a dinâmica da lagoa Itapeva é diretamente influenciada pelos agentes hidrodinâmicos, como os ventos predominantes e a chuva, principalmente. No entanto, de forma geral, estabelece-se um padrão de dinâmica conforme a estação do ano. Desta forma, as imagens de NDVI que obtiveram maior contribuição na componente 2 e na componente 3 na geração da série temporal são amostradas na figura 3 e 4, respectivamente.

As componentes principais das imagens nos possibilitam identificar o que há em comum em todas as imagens na componente 1, e o que há de mais evidente e inusitado nas componentes 2, 3, 4 sucessivamente. Neste estudo foram analisadas apenas as componentes 2 e 3 por evidenciarem os fatos que mais nos interessam.

Através das imagens de NDVI e especialmente através das imagens de maior contribuição na TSA podemos observar que nas estações do ano de verão (imagem dia 21-01-99, figura 3) e primavera (imagem dia 25-10-01, figura 3) é onde ocorre a menor dinâmica na lagoa. Essa menor dinâmica é devido a ocorrência de ventos com menor intensidade, nestas estações do ano a direção dos ventos predominantes são de NNE e ENE.

Assim, os ventos que normalmente ressuspendem o material orgânico e inorgânico não atuam com tanta intensidade, e a distribuição de fitoplâncton e material inorgânico encontra-se praticamente homogênea em toda a extensão da lagoa.

Além dos ventos, nestas estações do ano a ocorrência de chuvas é menor, o que acaba refletindo no menor aporte de material que é trazido pelos afluentes da lagoa, os rios Cardoso e Três Forquilhas.

É durante o outono e inverno onde há a ocorrência de inversão dos ventos predominantes e onde ocorre uma maior dinâmica na lagoa, isto é, os ventos predominantes passam a soprar do quadrante SW e W com maior intensidade.

Devido a lagoa Itapeva apresentar uma baixa profundidade, com médias em torno de 1 (um) metro, a ação do vento é intensificada e influencia diretamente na circulação da água, e conseqüentemente na distribuição do fitoplâncton. Assim, os organismos fitoplanctônicos concentram-se principalmente nas porções norte e centro-sul da lagoa.

Conforme a figura 3, imagem dia 28-05-93, pode ser observado a predominância das classes 5 e 6 na porção norte da lagoa, e classes 4 e 5 para a porção centro/sul, indicando uma maior concentração de biomassa na porção norte, decrescendo para a porção sul da lagoa. Este decréscimo na concentração de biomassa na direção norte-sul ocorre devido a porção norte da lagoa ocupar uma posição mais isolada da ação dos ventos e de menor circulação da água.

Na imagem do dia 24-06-91, figura 3, ocorre a predominância das classes 2 e 3 em quase toda a extensão da lagoa. Assim como na imagem do dia 28-05-93, a porção norte apresenta maior concentração de biomassa. No entanto, na porção sul da lagoa há predomínio das classes 3 e 4. Nesta estação do ano (inverno) ocorrem ventos fortes de sul e sudoeste, o que pode ser observado na imagem pelo comportamento da circulação e pela distribuição dos valores de NDVI, apresentados na imagem pelas classes. Observa-se uma distribuição no sentido sul-norte dos sedimentos, principalmente na região dos afluentes, os rios Cardoso e Três Forquilhas, localizados na porção oeste.

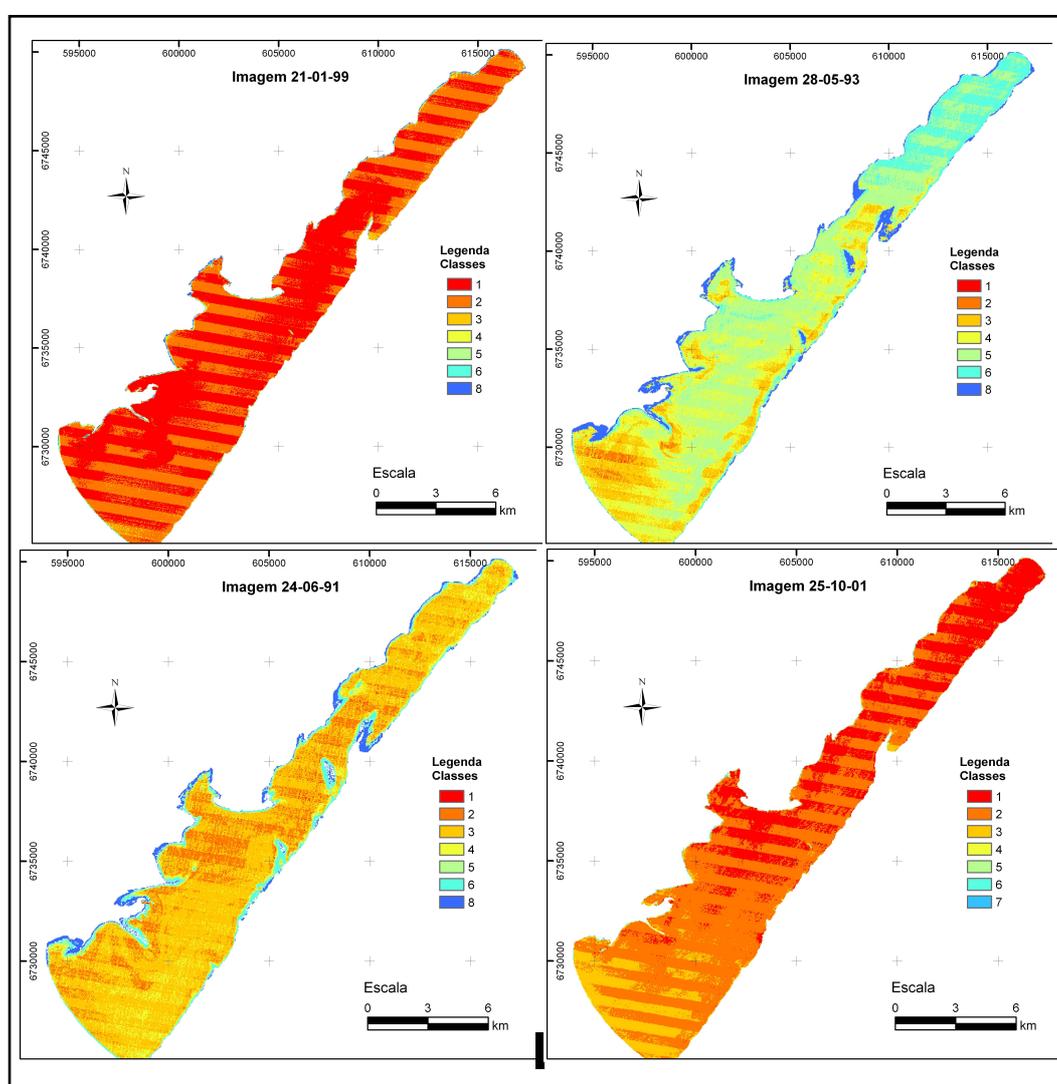


Figura 3. Imagens de maior contribuição na CMP 2

Na componente 3 são ressaltados os fatores mais marcantes das imagens, assim a dinâmica da lagoa é evidenciada, seguindo basicamente o mesmo padrão sazonal da componente 2.

Na figura 4, as imagens que obtiveram maior contribuição na componente 3 nas estações do ano de verão e primavera são as mesmas da componente 2, o que demonstra a pouca variação na dinâmica nestas estações do ano.

No entanto, a imagem de outono (dia 20-05-90, figura 4) apresenta uma dinâmica pouco comum à lagoa. Pode-se observar que há uma maior concentração de biomassa na porção sul, distribuída de forma bastante irregular. Devido a falta de dados de pluviometria correspondentes às datas das imagens, não foi possível estabelecer uma relação direta com dados de chuva, no entanto, pela distribuição e circulação da água, é provável que nos dias antecedentes à data da imagem, tenha ocorrido uma forte chuva que possibilitou a maior circulação das águas e redistribuição da biomassa.

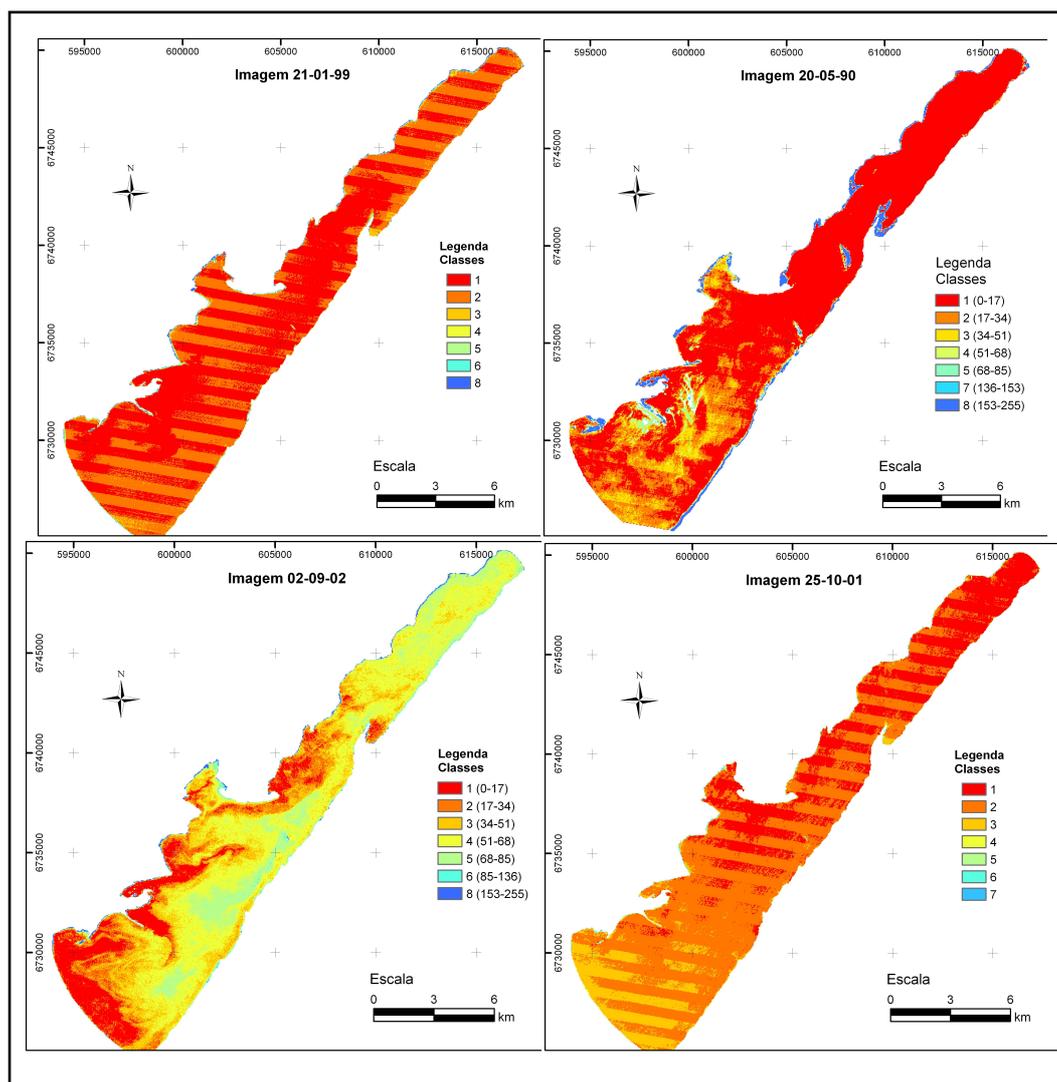


Figura 4. Imagens de maior contribuição na CMP 3

Na figura 4, imagem dia 02-09-02 ocorre uma dinâmica semelhante a da imagem do dia 24-06-91 (figura 3), porém, mais evidente. Pode-se observar que a distribuição da biomassa ocorre no sentido SW-NE, evidenciando a direção do vento predominante, sudoeste. Ocorre também uma maior concentração de biomassa na porção norte da lagoa. Com os ventos da direção SW os organismos fitoplanctônicos acabam sendo carregados nesta direção e concentrando-se na porção mais isolada da lagoa, na porção norte.

De forma geral, a lagoa Itaipava apresenta um padrão sazonal bastante característico, sendo fortemente influenciada pelos agentes hidrodinâmicos, principalmente o vento.

4. Considerações Finais

Os resultados preliminares revelam que os sistemas orbitais como o Landsat TM5 e Landsat ETM+7 podem ser utilizados para a avaliação da dinâmica e monitoramento superficial de alguns parâmetros da água, utilizando imagens de NDVI é possível obter a distribuição espacial de substâncias tais como a clorofila e estabelecer padrões sazonais através da geração de séries temporais.

No entanto, algumas dificuldades encontradas e que são pertinentes a todos os estudos dedicados à área de sensoriamento remoto e monitoramento ambiental é a dificuldade de se encontrar dados relativos a área de estudo, como por exemplo dados de pluviometria.

Outra dificuldade encontrada é relativa às imagens do satélite Landsat, que apresentam faixas de varredura, o que dificulta a interpretação dos dados e influencia nos resultados obtidos, mas ainda não há um método confiável para a remoção destas faixas das imagens.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela oportunidade de bolsa de estudos, pelo auxílio e apoio financeiro.

Referências

Arraut, E. M.; Rudorff, C. de M. et al. Estudo do comportamento espectral da clorofila e dos sólidos em suspensão nas águas do lago grande de Curuai (Pará), na época da seca, através de técnicas de espectroscopia de campo. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais XII, INPE, p.2447-2456. 2005.

Becker, V. **Variação da estrutura e da biomassa fitoplanctônica na Lagoa Itapeva (litoral norte do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica**. 2002. 125. Dissertação (Mestrado em Ecologia – Instituto de Biociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

Cardoso, L, 2001, **Variações da estrutura planctônica da lagoa Itapeva (Sistema Lagunar Costeiro do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica**. Tese de Doutorado, IPH/UFRGS, Porto Alegre, 466p.

Chávez, P. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 55: 1285-1294. 1989.

DGI/INPE. Disponível em : <<http://www.dgi.inpe.br/CDRS>>. Acesso em: mar.2010.

Londe, L. R.; Novo, E. M. L. M.; Calijuri, M. C. Avanços no estudo do comportamento espectral do fitoplâncton e identificação remota de algas. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XII, INPE, p. 389-396. 2005.

Lopardo, N. **Estudo hidrodinâmica e correlação com sólidos suspensos e turbidez na Lagoa Itapeva do Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul**. 2002. 186. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Básico - Instituto de Pesquisas Hidráulicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

Martini, L. C. P.; Mattos, D. S.; Barbosa, D. F. P.; Rech, A. L. B. Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila_a na Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC. In: **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.11, n. 4, p. 318-324, 2006.

Rouse, J. W.; Hass JR., R. H.; Schell, J. A.; Derring. D. W. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Prog. Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, 1973. 93p.