

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos**  
**Trópicos / PPG-DIBICT**

**JOSÉ LIMA ROSA NETO**

**VARIABILIDADE TEMPORAL DE CLOROFILA A DA ZONA COSTEIRA DO**  
**NORDESTE BRASILEIRO**

**MACEIÓ**  
**2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos**  
**Trópicos / PPG-DIBICT**

**JOSÉ LIMA ROSA NETO**

**VARIABILIDADE TEMPORAL DE CLOROFILA A DA ZONA COSTEIRA DO**  
**NORDESTE BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em Conservação da Biodiversidade Tropical.

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragoso**  
**Júnior**

**MACEIÓ**  
**2013**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos**

R788v Rosa Neto, José Lima.  
Variabilidade temporal de clorofila a da zona costeira do nordeste brasileiro / José Lima Rosa Neto. – 2013.  
58 f. : il.

Orientador: Carlos Ruberto Fragoso Júnior.  
Dissertação (Mestrado em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Maceió, 2013.

Inclui bibliografias e apêndices.

1. Clorofila. 2. Águas rasas. 3. Zona costeira tropical – Nordeste, Brasil.  
4. Sensoriamento remoto. I. Título.

CDU: 574.5

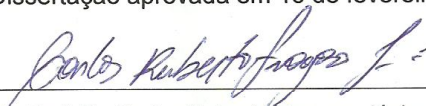
Folha de aprovação

José Lima Rosa Neto

REGIME HIDROLÓGICO GOVERNA VARIABILIDADE ESPAÇO-  
TEMPORAL DE CLOROFILA *a* NA ZONA COSTEIRA DO ESTADO  
DE ALAGOAS, NORDESTE BRASILEIRO.

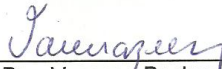
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação nos Trópicos, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em Conservação da Biodiversidade Tropical.

Dissertação aprovada em 15 de fevereiro de 2013.

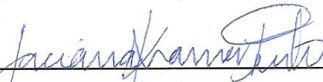


Prof. Dr. Carlos Ruberto Frago Junior - UFAL

Orientador



Profa. Dra. Vanessa Becker - UFRN  
(membro titular)



Profa. Dra. Taciana Kramer de Oliveira - UFAL  
(membro titular)



Prof. Dr. Petronio Alves Coelho Filho - UFAL  
(membro titular)

MACEIÓ - AL

Fevereiro / 2013

## DEDICATÓRIA

*À Deus, por ter me dado coragem, confiança e perseverança necessária para realizar esse trabalho.*

*À minha família, por todo o apoio nessa longa caminhada.*

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço a Capes pelo apoio ao estudo através da concessão da bolsa de mestrado e todo aparato estrutural.*

*Também agradeço ao NOAA e colaboradores, que disponibilizam os dados de sensoriamento remoto, bem como a ANA que disponibilizou os dados hidrológicos.*

*Ao Geógrafo Benício E.O. Monte pelo auxílio técnico na produção do shape dos recifes de corais.*

*Ao corpo docente do PPDiBiCT, em especial às professoras Dras. Nídia Fabr , Talita Esp sito e Iracilda Lima, pela contribui o na concep o e aprimoramento desse trabalho.*

*Ao professor Dr. Tiago Finkler Ferreira, pelas contribui es ao longo do processo de avalia o continuada da presente disserta o.*

*Por fim agradeço ao PPGDiBiCT, por todo apoio no processo tradu o e revis o do manuscrito.*

*"A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez" (George Bernard Shaw)*

*"A natureza é grande nas coisas grandes e grandíssima nas pequeninas." (Saint-Pierre)*

*"A natureza dá a cada época e estação algumas belezas peculiares; e da manhã até a noite, como do berço ao túmulo, nada mais é que uma sucessão de mudanças tão gentis e suaves que quase não conseguimos perceber os seus progressos." (Charles Dickens)*

## RESUMO

As zonas costeiras são regiões de extrema importância na produtividade primária global e frequentemente acabam tornando-se alvos da antropização, que altera diretamente as condições físico-químicas costeiras e por consequência na variabilidade espaço-temporal dos organismos fotossintetizantes. Este trabalho tem o objetivo de mapear a variabilidade espaço-temporal com base em dados de cor da superfície da água (clorofila *a*) advindas de sensoriamento remoto, bem como a influência de fatores ambientais (temperatura, intensidade do vento e corrente, descarga de massas de água fluvial e presença de recifes de corais) nesta variabilidade. Observamos que a costa apresenta uma considerável amplitude espacial nos valores de clorofila *a* ( $0,036 - 18,232 \text{ mg.m}^{-3}$ ) e uma mais alta correlação de seus valores com a intensidade da corrente. As médias mais elevadas de clorofila *a* foram encontradas na plataforma continental até 50 m de profundidade e latitudinalmente a porção sul da costa de Alagoas. Sazonalmente as médias mais elevadas estão entre os meses de abril a junho ( $0,338 \text{ mg m}^{-3}$ ) e mais baixas entre outubro a dezembro ( $0,184 \text{ mg m}^{-3}$ ), similar à sazonalidade do regime hidrológico de sete dos oito rios analisados. As análises estatísticas indicaram que a variabilidade espaço-temporal dos valores de clorofila *a* é influenciada principalmente pela variação sazonal do regime hidrológico e que zonas com elevada presença de recifes de corais condicionou uma redução na intensidade de clorofila *a* em função do bloqueio de nutrientes próximo as fozes dos rios.

**Palavras-chave:** águas rasas, zona costeira tropical, sensoriamento remoto



## ABSTRACT

Coastal zones are regions of extreme importance for global primary productivity and frequently suffer high levels of human disturbance. Such anthropogenic perturbations directly alter the physical and chemical coastal environment and, consequently, the spatio-temporal distribution and abundance of photosynthetic organisms. Here, we map the spatio-temporal variability of chlorophyll a concentration in a coastal region (Alagoas State) of northeastern Brazil through remote sensing and investigate the influence of environmental factors (i.e. temperature, wind speed and current, discharge of basins and presence of coral reefs) on this variability. Chlorophyll a values varied spatially (0.036-18.232 mg.m<sup>-3</sup>) and were strongly correlated with current intensity. The highest mean values for chlorophyll a were observed on the continental shelf up to 50 m deep and latitudinally towards the southern portion of study area. Seasonally, the highest means were between April and June (0.338 mg m<sup>-3</sup>) and the lowest between October and December (0.184 mg m<sup>-3</sup>). These values show a similar pattern to the hydrological regimes of eight rivers analyzed. Statistical analysis indicated that the spatio-temporal variability of chlorophyll a values is mainly influenced by the seasonal variation in hydrological regime, and that areas with abundant coral reefs had reduced chlorophyll a levels due to the blocking of nutrients at river mouths.

**Key-word:** shallow water, tropical zone, remote sensing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zona costeira do Estado de Alagoas no Nordeste brasileiro, com caracterização da hidrografia dos principais rios, ocorrência de barreiras de corais (fonte: ReefBase / UNEP-WCMC) e batimetria da região (fonte: SRTM30 Plus V7.0).....	36
Figura 2. Valores médios (a) e desvios-padrão (b) da concentração de clorofila a.....	40
Figura 3. Variação sazonal dos valores médios mensais de clorofila a, corrente, vento, Temperatura da superfície do mar e Radiação fotossinteticamente ativa. (valores normalizados).....	42
Figura 4. Variação dos valores médios de cotas dos rios e dos valores médios mensais de clorofila a (valores normalizados).....	43
Figura 5. Variabilidade trimestral da concentração de clorofila a na costa alagoana.....	44
Figura 6. Função Ortogonal Empírica dos valores das médias mensais de clorofila a.....	45
Figura 7. Autovetores da primeira (a) e segunda (b) componente da EOF de clorofila a.....	47
Figura 8. Análise de cluster da similaridade espacial dos valores da produtividade primária.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise de regressão múltipla entre as variáveis ambientais e a concentração de clorofila a.....	41
Tabela 2. Correlações entre a clorofila a e os níveis da água dos principais rios da costa de Alagoas.....	48

## SUMÁRIO

<b>1 APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Produtividade Primária Costeira.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Aporte de Águas Fluviais na Costa.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Fatores Físico-Químicos na Produtividade Primária.....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Temperatura da Superfície do Mar.....	19
2.3.2 Correntes Marinhas .....	20
2.3.3 Ventos .....	20
2.3.4 Radiação Solar .....	21
2.3.5 Barreiras de Corais.....	21
<b>2.4 Sensoriamento Remoto.....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>25</b>
<b>3 ARTIGO.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 introdução.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Material e método.....</b>	<b>35</b>
3.2.1 Área de Estudo.....	35
3.2.2 Grupo de dados.....	37
3.2.3 Análise Espacial .....	38
<b>3.3 Resultados.....</b>	<b>39</b>
<b>3.4 Discussão.....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
<b>REFERÊNCIAS GERAIS.....</b>	<b>60</b>

## 1 Apresentação

Na presente dissertação discute-se acerca da concentração de clorofila *a* costeira na costa alagoana, buscando compreender os padrões de variabilidade espaço-temporal dessa concentração, com base em informações de cor da superfície da água (clorofila *a*) advindas de sensoriamento remoto. Além disso, elucida sobre as relações dessa variabilidade espaço-temporal e fatores ambientais inerentes ao ecossistema, que de alguma forma atuam como forçantes na variabilidade da intensidade de clorofila *a*.

Tais informações são apresentadas nessa dissertação sobre a forma de artigo científico, estruturado nos tópicos de introdução, material e método, resultados, discussão e referências<sup>1</sup>, além de conter uma revisão de literatura.

---

<sup>1</sup> Formatada de acordo com as normas da revista Remote Sensing of Environment – Elsevier, a qual o artigo foi submetido.

## **2 Revisão da Literatura**

### **2.1 Produtividade Primária Costeira**

O campo de estudos de produtividade primária foi pouco explorado pela ciência marinha, pois ficou desassistido em função dos interesses econômicos à caracterização da diversidade, densidade e biomassa dos recursos explorados ou para exploração como afirmam Longhurst e Pauly (2007). No entanto, segundo Neves et al. (2008), o advento da incorporação dessas informações tornou-se de suma importância para a composição de um conhecimento ecossistêmico integrado, visando indicadores para política de gestão ambiental e de sustentabilidade dos indivíduos explorados e que estão intimamente ligados a essas condições de produtividade.

Neste contexto se inserem as zonas costeiras, que de acordo com Le Fèvre (1987), cobrem apenas aproximadamente 7% da superfície global do oceano, contudo, este ambiente se destaca por contribuir com aproximadamente 15% da biomassa fitoplanctônica global, indicando um ambiente altamente produtivo em relação a sua área.

Tal conhecimento se tornou possível em virtude das pesquisas realizadas no início da década de 50 por Nielsen (1952; 1954), onde o autor avaliou a absorção de  $C^{14}$ , e conseqüentemente a produção de matéria orgânica por organismos produtores (macroalgas e fitoplâncton). O autor ressaltou a importância desses estudos com base para a compreensão da produção de comida ao longo da cadeia alimentar, tendo o homem como seu principal consumidor e beneficiário final.

Cadée (1975) realizou estudos de análise da produtividade primária na costa da Guiana, realizando amostragens da água e verificando a taxa de assimilação de  $C^{14}$ , onde foi possível detectar uma maior produtividade primária em zonas de maior turbidez em virtude do fenômeno de Upwelling.

Atualmente os estudos de produtividade primária marinha concentram-se no uso de tecnologia orbital, dessa forma grande parte das pesquisas estão focadas em validações em campo de dados de monitoramento remoto e conseqüentemente o desenvolvimento de modelos matemáticos que expliquem os processos físico-químicos

e biológicos ligado à essa produtividade (Gitelson et al., 2008; Kampel et al., 2009; Lutz et al., 2010; Barnes et al. 2011; Chassot et al., 2011; Saba et al., 2011).

## **2.2 Aporte de Águas Continentais na Costa**

Em meados da década de 60 do século passado, Copeland (1966) já diagnosticava a influência da diminuição da vazão de rios, causadas principalmente por barragens de indústrias, no fluxo de nutrientes carreados e conseqüentemente na produtividade inter-relacionada a esse fluxo em ambientes estuarinos e costeiros.

Na costa da Guiana, Cadée (1975) diagnosticou a influência da saída de massas de água do Rio Amazonas como fator influente na elevada produtividade primária da região. Na década de 80, Randall e Day Jr. (1987) e Malone et al. (1988) estudaram a influência da descarga dos rios Atchafalaya na baía de Fourleague e Susquehanna na baía de Chesapeake (EUA), respectivamente, e encontraram forte correlação entre a sazonalidade climática e fluvial com a produtividade costeira da região.

Resultados da influência de descarga de águas continentais também foram relatados por Flores-Verdugo et al. (1990) em um sistema lagunar na costa pacífica do México, onde mostraram a forte relação da produtividade primária associada ao período de maior fluxo de água pelo sistema lagunar e estuarino. Em estudos similares feito ao longo da costa dos estados de Pernambuco por Branco et al. (2002), Silva et al. (2004), Leão et al. (2008), Anjos et al. (2012) e Aquino et al. (2012); e da Bahia por Mafalda Jr. et al. (2004), foi registrado o incremento de biomassa fitoplanctônica durante o período chuvoso, dessa forma a produtividade variando de acordo com a sazonalidade pluviométrica.

Lima et al. (1996) caracterizaram a variabilidade sazonal na costa do Rio Grande do Sul, e encontraram resultados similares aos citados acima, porém, registrando as diferenças de magnitude e características de eutrofização específicas a cada bacia hidrográfica, as quais podem apresentar diferentes padrões de influência na sazonalidade da produtividade costeira regional. Ciotti et al. (2010) mapearam espacial

e temporalmente a variabilidade da produtividade primária das águas da costa atlântica da América do Sul, desde a foz do rio Amazonas até o rio La Plata, onde confirmaram a correlação sazonal da produtividade primária da costa com a sazonalidade dos fluxos pluviais, no entanto enfatizam a diversidade de ambientes ao longo da costa atlântica do continente, que influenciam de maneira pontual a variabilidade da produtividade primária. Além disso, Quigg et al. (2011) também evidenciaram um aumento da produtividade primária na prateleira da costa da Louisiana (EUA) em função do aumento de nutrientes carreados, consequência da acelerada eutrofização do ecossistema.

Porém a influência do aporte de águas fluviais pode não ser determinante para a produtividade primária ou apenas não representar uma força na variabilidade sazonal da mesma, como em resultados encontrados por Schettini et al. (2005) no estuário do rio Itajaí-Açú em Santa Catarina, onde relatam que a região de influência fluvial para o determinado rio na região estudada é pequena, de forma que seus resultados indicaram que a produtividade primária pode ser governada principalmente pela variação de temperatura.

### **2.3 Fatores Físico-Químicos na Produtividade Primária**

A partir da difusão dos primeiros estudos de produtividade primária marinha e da necessidade do entendimento da dinâmica da base da cadeia trófica do ecossistema, iniciaram-se então vários estudos para a compreensão da relação da produtividade primária com os fatores ambientais, em especial os físico-químicos, como feito por Menzel e Ryther (1953) em Bermuda no Mar dos Sargassos, os quais, o caracterizaram como um ambiente com produção primária diferente das águas temperadas, fato descrito por eles por estar associado a diferentes condições sazonais da região, principalmente ao inverno com radiação mais intensa e, além disso, à água ser pobre em nutrientes.

Mais recentemente, Gong et al. (2000) estudaram a variação espaço-temporal de clorofila *a* no sul da costa da China Oriental e constataram uma variação sazonal,



com menor produtividade durante o verão e em zonas mais profundas, causada por fenômenos físicos como movimentos de correntes, vento e fluxo de água continentais, os quais regem as feições químicas da água na plataforma continental. E na América do Sul um estudo de Acha et al. (2004), onde eles compararam as características físicas e ambientais da costa da porção sul (20° - 60°) do continente, a partir de dados remotos, onde foi possível constatar fatores intrínsecos a cada região, que atuam como determinante da produtividade primária, tais como ventos, marés, correntes oceânicas e descargas fluviais de maneira que esses fatores atuam como forçantes interagindo com as características geomorfológicas de cada região.

### 2.3.1 Temperatura da Superfície do Mar

Para Eppley (1972) a temperatura em mares tropicais não é o fator preponderante para a produtividade primária, pois tais regiões têm como fator limitante baixas concentrações de nutrientes principalmente durante o verão. Ainda assim, Thomas et al. (2002) consideram que o uso de informações em largas escalas de tempo da temperatura da superfície do mar na zona costeira pode auxiliar na compreensão de dinâmicas oceânicas em escala global. Além do mais, Hopkinson (1985) condiciona a temperatura como sendo um dos principais parâmetros para o equilíbrio metabólico de ecossistemas rasos. Corroborado por Keiner e Yan (1997), que demonstraram a eficiência do uso de dados de temperatura da superfície do mar (TSM) associados a análises de Funções Ortogonais Empíricas para diagnosticar os padrões sazonais da Baía de Delaware na costa dos Estados Unidos.

Menzel e Ryther (1953) em seus primeiros estudos sobre produtividade primária em regiões tropicais encontraram pouca relação com a temperatura, visto que encontraram os maiores valores mais elevados de absorção de C14 durante o inverno. Branco et al. (2002) encontraram em seus resultados altas correlações entre temperatura e produtividade primária em Jaboatão dos Guararapes no estado de Pernambuco, no entanto inversamente proporcionais, assim como em diversos estudos, Valentin e Coutinho (1990) na costa de Cabo Frio, no Rio de Janeiro, onde a variação de temperatura está associada ao fenômeno de Upwelling; Pérez et al. (2005) que

avaliaram o efeito da sazonalidade na produtividade primária no Atlântico Equatorial; Barnes et al. (2011) e em outras regiões a variação da temperatura não foi suficiente para exercer influência na variação da produtividade primária, fato relatado por Santos et al. (2009) em um estudo na bacia do Pina, zona costeira de Recife, estado de Pernambuco, Brasil.

### 2.3.2 Correntes Marinhas

Arnone (1987) encontrou padrões de variação nos dados de cor do oceano com os movimentos de correntes oceânicas (processos físicos) que promovem a alteração da temperatura da água e enriquecimento de nutrientes. Fenômenos encontrados principalmente onde a plataforma continental é profunda e o fenômeno de Upwelling tem uma influência determinante na mistura de massas de água profunda com da superfície, promovendo alteração na temperatura da água, mas especialmente enriquecendo com nutrientes a camada mais superficial, evidenciado em estudos ao longo da costa sul da América do Sul (Lima et al., 1996; Acha et al., 2004; Lorenzetti et al., 2009) e no Golfo do México (Schroeder et al., 1987).

O movimento de correntes marinhas processo responsável pelo enriquecimento de nutrientes na região da plataforma continental na costa dos estados de Washington e Oregon durante o período de verão, igualmente encontrada durante o verão na costa Noroeste do Mar da China Meridional (Thomas e Weatherbee, 2006; Song et al., 2012).

### 2.3.3 Ventos

Assim como o movimento de correntes, o efeito fator físico de intensidade e direção dos ventos também são condicionantes de características espaço-temporais da produtividade costeira, visto que está diretamente associado a processos hidrodinâmicos costeiros como constatado por Figueiras et al. (2002); e Hall & Davies (2002). Além disso, a variável vento torna-se um condição preponderante na formulação de modelos para compreensão da dinâmica de ecossistemas costeiros, em especial para a dissipação de nutrientes e de organismos produtores (Muscarella et al., 2011).

#### 2.3.4 Radiação Solar

Naturalmente, o efeito da luz é um fator necessário à concentração de clorofila *a*, visto que o processo de fotossíntese é totalmente dependente da sua incidência sobre a célula vegetal, especificamente atuante nos pigmentos de clorofila (Geider et al., 2001). Logo, a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) passou ser monitorada via sensores remotos (e.g. SeaWiifs e MODIS) com o intuito de averiguar a dinâmica espacial e temporal do processo de fotossíntese tanto em ecossistemas terrestres (Van Laake & Sanchez-Azofeifa, 2005) quanto aquáticos (Campbell & O'Reilly, 1988). E em zonas costeiras a RFA surge como mais uma componente na busca do entendimento da dinâmica de produtividade primária desse complexo sistema, através de modelos matemáticos, os quais associam esta variável às demais forçantes da produtividade primária (i.e. temperatura e clorofila *a*), como avaliado por Kostoglidis et al., (2005) e Barnes et al. (2011).

#### 2.3.5 Barreiras recifais

Outro fator físico considerado influente na produtividade primária costeira em águas tropicais é a presença de barreiras de recifes de corais, os quais além conter grandes populações de macroalgas, atuam como barramentos de águas fluviais fazendo com que grande parte dos nutrientes descarregados, gerando suas plumas, fiquem mais tempo retidos na zona de incidência da barreira, alterando assim as características como salinidade e temperatura da água, esse conhecimento foi comprovado no trabalho de Wolanski e Thomson (1984) que avaliaram o efeito da direção do vento na circulação das massas de águas superficiais, que devido ao amortecimento nos recifes as correntes marinhas são impedidas de propagar; Wolanski et al. (1984), na Grande Barreira de Corais, na plataforma norte do Golfo de Papua Nova Guiné através de análises de imagens do satélite LANDSAT e do CZCS (Coastal Zone Color Scanner); e Burrage et al. (1996) em estudo na Grande Barreira de Corais na costa nordeste da Austrália, para avaliar o uso de imagens do satélite AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer).

Fabrizius et al. (2012) puderam constatar o efeito sazonal da vazão dos rios na turbidez das águas na Grande Barreira de Corais na Austrália, constatando ainda diferenças entre zonas recifais

## **2.4 Sensoriamento Remoto**

O conhecimento das características e dinâmicas físicas e químicas da superfície do mar obteve seu maior avanço a partir da década de 70, tendo seu monitoramento realizado através de sensores remotos, ferramenta essa a qual permitiu uma maior captação espaço-temporal de dados desde escala regional até global (Feldman, 1986; Geider *et al.*, 2001). No entanto essa evolução surgiu primordialmente com o intuito de captar as transformações climáticas, principalmente temperatura, precipitação, cobertura de nuvens, ventos e correntes oceânicas (Fischer *et al.*, 1976).

Todavia foi a partir da captação de imagens multiespectrais da concentração de clorofila *a* da superfície marinha que puderam ser realizados estudos quantitativos e de variabilidade da concentração de clorofila *a*, estando abordo do satélite Nimbus-7 o primeiro sensor de cor do oceano CZCS (Coastal Zone Color Scanner) lançado pela NASA e em atividade de 1978 a 1986 (Souza, 2003). Arnone (1987) realizou um estudo na Bacia de Alboran, onde obteve resultados esclarecedores com relação à distribuição espacial fitoplanctônica a partir do padrão da cor do oceano associado à temperatura e mistura da água.

Durante a década de 1990, vários estudos utilizando dados de cerca de vinte anos dos sensores orbitais dedicaram-se principalmente à: (1) compreensão dos padrões da dinâmica da concentração de clorofila *a* em escala global e regional, como também (2) no desenvolvimento de modelos de previsão para a concentração de clorofila *a* e (3) até transformações globais correlacionadas com a concentração de clorofila *a*, como mudanças na temperatura, ventos e correntes oceânicas. Como nos estudos realizados por Stegmann et al. (1992), os quais, puderam concluir que com a associação dos dados empíricos as informações sobre clorofila *a* marinha vinda de satélites se tornam essenciais para a estimativa da concentração de clorofila *a* oceânica global através de algoritmos mais precisos; Gallaudet and Simpson (1994) em Punta

Eugenia, Baja California, utilizaram em seus estudos os dados de temperatura da superfície do mar (TSM) do sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) interpretados através de Análises de Funções Ortogonais Empíricas e encontraram resultados satisfatórios em relação ao mapeamento da variabilidade da temperatura como um parâmetro físico essencial na compreensão de dinâmicas de ecossistemas costeiros; Walker (1996) utilizou dados de imagens do satélite AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) em modelos preditivos para compreensão dos fenômenos relacionados à variabilidade da pluma do rio Mississippi e suas futuras paisagens; e mais tarde, Del Castillo e Miller (2008) utilizaram os dados de oito anos (1998-2005) do sensor SeaWiFS para avaliar a pluma do mesmo rio, obtendo uma correlação de  $R^2=0.7$  com dados empíricos.

E diante dos avanços nessa ferramenta Esaias et al. (1998) relataram as melhorias da capacidade de investigações de processos oceânicos com base nos dados do Sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), sendo este o mais avançado em resolução e calibrações realizadas com base nos satélites antecessores. Logo, foi a partir do século XXI que a captação de imagens de satélite passou a fazer interpretações da concentração de clorofila *a* de águas costeiras mais calibradas, com aumento na resolução de suas imagens, podendo dessa forma alcançar áreas de alta concentração de sedimentos e partículas orgânicas dissolvidas (Geider *et al.*, 2001).

D'Sa e Ko (2008) relataram a eficiência do uso de dados de imagens de sensores remotos (QuikSCAT e SeaWiFS) combinados, com a finalidade de criar um modelo para compreender o efeito de alterações ambientais e fenômenos oceânicos (i.e. furacões e tempestades) nos padrões de plumas de matéria particulada suspensa costeira e conseqüentemente a concentração de clorofila *a*, como evidenciado no estudo realizado por Alpers et al. (2013) na zona costeira de Senegal (África Ocidental). Gons et al. (2002) buscaram também a concepção de modelo baseado em dados do sensor MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) que mapeasse a distribuição fitoplanctônica em escala regional, bem como o avanços na compreensão dos efeitos de impactos físicos e humanos nos funcionamento de ecossistemas costeiros.

Corroborado por Pereira et al. (2009) que utilizaram o MODIS para caracterizar as feições oceanográficas da costa do estado de Santa Catarina-Brasil, por Callejas-Jimenez et al. (2012) para mapear regiões no Golfo do México de acordo com dados de concentração de clorofila *a* e TSM; e por Volpe et al. (2012) que utilizaram sensoriamento remoto associada a análises de Funções Ortogonais Empíricas para compreender o efeito de processo físicos na variabilidade fitoplanctônica do Mar Mediterrâneo.

Além disso, diversos estudos visam a melhoria dos dados vindos de sensores remotos através de calibração de algoritmos com dados *in situ*, principalmente no que diz respeito a zonas de grande complexidade ambiental, como relatam Froidefond et al. (2002) no trabalho realizado na costa da Guiana Francesa, a qual está sob forte influência do rio Amazonas, numa zona de manguezal com elevada quantidade de matéria particulada suspensa. Darecki e Stramski (2004) avaliaram o desempenho dos sensores MODIS e SeaWifs na captação da concentração de clorofila *a* no mar Báltico, e para essa zona temperada os dados foram eficazes, com boas correlações com os dados coletados em campo ( $R=0.92$ ,  $n=300$ ). Hu et al. (2004) também encontraram boas correlações entre os dados de clorofila *a* do sensor MODIS e *in situ* ( $R^2=0.8$ ,  $n=7$ ), na Baía de Tampa, na costa do Golfo da Florida Central. E na Baía de Chesapeake dois trabalhos comparam as informações de satélites, visando evidenciar quais sensores são mais precisos na formação de imagens de regiões de águas turvas e com diferentes concentrações de clorofila *a*, Gitelson et al. (2007) com os sensores MERIS e SeaWifs e Werdell et al. (2009) com MODIS e SeaWifs.

Segundo Kampel et al. (2009), o sensor MODIS aqua tem tendência a superestimar regiões de concentrações menores que  $0,17 \text{ mg/m}^3$ , o que compreende principalmente regiões tropicais oligotróficas, sendo necessário a calibração através de algoritmos baseados em dados *in situ*.

Dessa forma os estudos de variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila *a* baseadas em dados remotos estão se tornando seguro o suficiente para fornecer bases para gestão costeira e para determinação de zonas de pesca potenciais (Chassot et al. 2011). Como comprovado nos estudos de Solanki et al. (2005) na costa

de Gujarat ao norte do mar da Arábia; de Thomas e Weatherbee (2006) na zona costeira dos estados de Washington e Oregon (EUA), onde o estudo da dissipação da pluma do rio Columbia foi determinante para determinação das zonas de maior produtividade; e de Lahet e Stramski (2010) na costa de San Diego, sul da Califórnia-EUA, onde obtiveram correlações elevadas entre os dados de imagens do MODIS da pluma do rio Tijuana com fatores ambientais (fluxo do rio, velocidade do ventos e precipitação).

## Referências

- Acha, E. M.; Mianzan, H. W.; Guerrero, R. A.; Favero, M. & Bava, J. 2004. Marine fronts at the continental shelves of austral South America Physical and ecological processes. **Journal of Marine Systems** **44**: 83-105.
- Alpers, W.; Brandt, P.; Lazar, A.; Daborne, D.; Sow, B.; Faye, S.; Hansen, M. W.; Rubino, A.; Poulain, P.-M. and Brehmer, P. 2013. A small-scale oceanic eddy off the coast of West Africa studied by multi-sensor satellite and surface drifter data. **Remote Sensing of Environment** **129**: 132–143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.032>
- Anjos, D. L.; Passavante, J. Z. O.; Silva-Cunha, M. G. G. e Silva, M. H. 2012. Biomassa fitoplanctônica correlacionada aos fatores hidrológicos no estuário do rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography** **40** (1): 167-184.
- Aquino, E. P.; Figueirêdo, L. G. P.; Anjos, D. L.; Passavante, J. Z. O. e Silva-Cunha M. G. G. 2012. Biomassa fitoplanctônica e fatores ambientais em um estuário tropical do Brasil. **Tropical Oceanography** **40** (1): 17-28.
- Arnone, R. A. 1987. Satellite-Derived Color-Temperature Relationship in the Alboran Sea. **Remote Sensing of Environment** **23**: 417-437.
- Barnes, C.; Irigoien, X.; Oliveira, J. A. A.; Maxwell, D. and Jennings, S. 2011. Predicting marine phytoplankton community size structure from empirical relationships with remotely sensed variables. **Journal of Plankton Research** **33** (1): 13-24.
- Branco, E. S.; Feitosa, F. A. N. e Flores-Monte, M. J. 2002. Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos no estuário de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco – BRASIL). **Tropical Oceanography** **30** (2): 79-96.
- Cadée, G. C. 1975. Primary production off the Guyana coast. **Netherlands Journal of Sea Research** **9** (1): 128-143
- Callejas-Jimenez, M.; Santamaria-del-Angel, E.; Gonzalez-Silvera, A.; Millan-Nuñez, R. and Cajal-Medrano, R. 2012. Dynamic Regionalization of the Gulf of Mexico based

on normalized radiances (nLw) derived from MODIS-Aqua. **Continental Shelf Research** **37**: 8-14.

- Chassot, E.; Bonhommeau, S.; Reygondeau, G.; Nieto, K.; Polovina, J. J.; Huret, M.; Dulvy, N. K. & Demarcq, H. 2011. Satellite remote sensing for an ecosystem approach to fisheries management. **ICES Journal of Marine Science** **68** (4): 651-666.
- Ciotti, A. M.; Garcia, C. A. E. and Jorge, D. S. F. 2010. Temporal and meridional variability of Satellite-estimates of surface chlorophyll concentration over the Brazilian continental shelf. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences** **5** (2): 64-81.
- Copeland, B. J. 1966. Effects of decreased river flow on estuarine ecology. **Journal of the Water Pollution Control Federation** **31** (183): 1-1839.
- D'Sa, E. J. and Ko, D. S. 2008. Short-term Influences on Suspended Particulate Matter Distribution in the Northern Gulf of Mexico: Satellite and Model Observations. **Sensors** **8**: 4249-4264.
- Darecki, M. and Stramski, D. 2004. An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea. **Remote Sensing of Environment** **89**: 326-350.
- Del Castillo, C. E. and Miller, R. L. 2008. On the use of ocean color remote sensing to measure the transport of dissolved organic carbon by the Mississippi River Plume. **Remote Sensing of Environment** **112**: 836-844.
- Eppley, R. W. 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. **Fishery Bulletin** **70** (4): 1063-1085.
- Esaias, W. E.; Abbott, M. R.; Barton, I.; Brown, O. B.; Campbell, J. W.; Carder, K. L.; Clark, D. K.; Evans, R. H.; Hoge, F. E.; Gordon, H. R.; Balch, W. M.; Letelier, R. and Minnett, P. J. 1998. An overview of MODIS capabilities for ocean science observations. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing** **36** (4): 1250-1265.
- Fabricius, K. E.; De'ath, G.; Humphrey, Zagorskis, C. I. and Schaffelke, B. 2012. Intra-annual variation in turbidity in response to terrestrial runoff on near-shore coral reefs of the Great Barrier Reef. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Available online 14 March 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2012.03.010>
- Feldman, G. C. 1986. Variability of the productive habitat in the Eastern Equatorial Pacific. **EOS** **67** (9): 106-108.
- Fischer, W. A.; Hemphill, W. R. and Kover, A. 1976. Progress in remote sensing (1972-1976). **Photogrammetria** **32**: 33-72.
- Flores-Verdugo, F.; González-Farías, F.; Ramírez-Flores, O.; Amezcua-Linares, F.; Yáñez-Arancibia, A.; Alvarez-Rubio, M. and Day Jr., J. W. 1990. Mangrove Ecology, Aquatic Primary Productivity, and Fish Community Dynamics in the



Teacapfin-Agua Brava Lagoon-Estuarine System (Mexican Pacific). **Estuaries** **13** (2): 219-230.

- Froidefond, J.-M.; Gardel, L.; Guiral, D.; Parra, M. and TERNON, J.-F. 2002. Spectral remote sensing reflectances of coastal waters in French Guiana under the Amazon influence. **Remote Sensing of Environment** **80** (2): 225–232. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00301-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00301-7)
- Gallaudet, T. C. and Simpson, J. J. 1994. An empirical orthogonal function analysis of remotely sensed sea surface temperature variability and its relation to interior oceanic processes off Baja California. **Remote Sensing of Environment** **47** (3): 375–389. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90105-8](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)90105-8)
- Geider, R. J., Delucia, E. H., Falkowski, P. G., Finzi, A. C., Grime, J. P., Grace, J., Kana, T. M., La Roche, J., Long, S. P., Osborne, B. A., Platt, T., Prentice, I. C., Raven, J. A., Schlesinger, W. H., Smetacek, V., Stuart, V., Sathyendranath, S., Thomas, R. B., Vogelmann, T. C., Williams, P. and Woodward, F. I. 2001. Primary productivity of planet earth: biological determinants and physical constraints in terrestrial and aquatic habitats. **Global Change Biology** **7**: 849–882. doi: 10.1046/j.1365-2486.2001.00448.x
- Gitelson, A. A.; Schalles, J. F. & Hladik, C. M. 2007. Remote chlorophyll-a retrieval in turbid, productive estuaries: Chesapeake Bay case study. **Remote Sensing of Environment** **109** (4) 464–472. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.01.016>
- Gitelson, A. A.; Dall'Olmo, G.; Moses, W.; Rundquist, D. C.; Barrow, T.; Fisher, T. R.; Gurlin, D. and Holz, J. 2008. A simple semi-analytical model for remote estimation of chlorophyll-a in turbid waters: Validation. **Remote Sensing of Environment** **112**: 582–3593.
- Gong, G.-C.; Shiah, F.-K.; Liu, K.-K.; Wen, Y.-H. and Liang, M.-H. 2000. Spatial and temporal variation of chlorophyll a, primary productivity and chemical hydrography in the southern East China Sea. **Continental Shelf Research** **20**: 411-436.
- Gons, H. J.; Rijkeboer, M. and Ruddick, K. G. 2002. A chlorophyll-retrieval algorithm for satellite imagery (Medium Resolution Imaging Spectrometer) of inland and coastal waters. **Journal of Plankton Research** **24** (9): 947-951. doi: 10.1093/plankt/24.9.947
- Hopkinson, C. S. 1985. Shallow-water benthic and pelagic metabolism: **Marine Biology** **87** (1): 19–32, DOI: 10.1007/BF00397002.
- Hu, C.; Chen, Z.; Clayton, T. D.; Swarzenski, P.; Brock, J. C. and Muller-Karger, F. E. 2004. Assessment of estuarine water-quality indicators using MODIS medium-resolution bands: Initial results from Tampa Bay, FL. **Remote Sensing of Environment** **93**: 423-441.
- Kampel, M.; Lorenzetti, J. A.; Bentz, C. M.; Nunes, R. A.; Paranhos, R.; Rudorff, F. M. and Politano, A. T. 2009. Simultaneous Measurements of Chlorophyll

- Concentration by Lidar, Fluorometry, above-Water Radiometry, and Ocean Color MODIS Images in the Southwestern Atlantic. **Sensors** **9**: 528-541.
- Keiner, L. E. and Yan, X.-H. 1997. Empirical orthogonal function analysis of sea surface temperature patterns in Delaware Bay. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing** **35** (5): 1299-1306. doi:10.1109/36.628796
- Kostoglidis, A.; Pattiaratchi, C. B. and Hamilton, D. P. 2005. CDOM and its contribution to the underwater light climate of a shallow, microtidal estuary in south-western Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** **63** (4): 469–477. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2004.11.016>
- Leão, B. M.; Passavante, J. Z. O.; Silva-Cunha, M. G. G. e Santiago, M. F. 2008. Ecologia do microfitoplâncton do estuário do rio Igarassu, PE, Brasil. **Acta Botânica Brasileira** **22** (3): 711-722.
- Le Fèvre, J. 1987. Aspects of the biology of frontal systems. **Advances in Marine Biology** **23**: 163–299.
- Lima, I. D.; Garcia, C. A. E. and Möller, O. O. 1996. Ocean surface processes on the southern Brazilian shelf: characterization and seasonal variability. **Continental Shelf Research** **16**: 1307-1317.
- Longhurst, A. R. e Pauly, D. 2007. **Ecologia dos Oceanos Tropicais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. (Coleção Base; 5), P. 427.
- Lorenzetti, J. A.; Stech, J. L.; Mello Filho, W. L. and Assireu, A. T. 2009. Satellite observation of Brazil Current inshore thermal front in the SW South Atlantic: Space/time variability and sea surface temperatures. **Continental Shelf Research** **29** (17): 2061–2068. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2009.07.011>
- Lutz, V. A.; Segura, V.; Dogliotti, A. I.; Gagliardini, D. A.; Bianchi, A. A. and Balestrini, C. F. 2010. Primary production in the Argentine Sea during spring estimated by field and satellite models. **Journal of Plankton Research** **32** (2): 181-195.
- Mafalda Jr., P. O.; Sinque, C.; Brito, R. R. C. e Santos, J. J. 2004. Biomassa planctônica, hidrografia e pluviosidade na costa norte da Bahia, Brasil. **Tropical Oceanography** **32** (2): 143-158.
- Malone, C.; Crocker, L. H.; Pike, S. E. and Wendler, B. W. 1988. Influences of river flow on the dynamics of phytoplankton production in a partially stratified estuary. **Marine Ecology - Progress Series** **48**: 235-249.
- Menzel, D. W. and Ryther, J. H. 1953. The annual cycle of primary production in the Sargasso Sea off Bermuda. **Deep Sea Research** **6** (1959–1960): 351–367. [http://dx.doi.org/10.1016/0146-6313\(59\)90095-4](http://dx.doi.org/10.1016/0146-6313(59)90095-4)
- Muscarella, P. A.; Barton N. P.; Lipphardt Jr., B. L.; Veron D. E.; Wong, K. C. and Kirwan Jr., A. D. 2011. Surface currents and winds at the Delaware Bay mouth. **Continental Shelf Research** **31** (12): 1282-1293.

- Neves, D. R. C. B.; Pinho, J. L. S. e Vieira, J. M. P. 2008. Análise de Dados de Satélite Adequados à Caracterização da Produção Primária na Superfície Oceânica da Zee Portuguesa. **Engenharia Civil - UM 33**: 125-138.
- Nielsen, E. S. 1952. The Use of Radio-active Carbon (C14) for Measuring Organic Production in the Sea. **J. Cons. int. Explor. Mer 18** (2): 117-140. doi: 10.1093/icesjms/18.2.117
- Nielsen, E. S. 1952. On Organic Production in the Oceans. **J. Cons. int. Explor. Mer 19** (3): 309-328. doi: 10.1093/icesjms/19.3.309
- Pérez, V.; Fernandez, E.; Marañón, E.; Serret, P. & García-Soto, C. 2005. Seasonal and interannual variability of chlorophyll a and primary production in the Equatorial Atlantic: in situ and remote sensing observations. **Journal of Plankton Research, 27** (2): 189-197.
- Quigg, A.; Sylvan, J. B.; Gustafson, A. B.; Fisher, T. R.; Oliver, R. L.; Tozzi, S. and Ammerman, J. W. 2011. Going West: Nutrient Limitation of Primary Production in the Northern Gulf of Mexico and the Importance of the Atchafalaya River. **Aquatic Geochemistry 17**: 519-544.
- Randall, J. M. and Day Jr., J. W. 1987. Effects of river discharge and vertical circulation on aquatic primary production in a turbid Louisiana (USA) estuary. **Netherlands Journal of Sea Research 21** (3): 231-242. [http://dx.doi.org/10.1016/0077-7579\(87\)90015-9](http://dx.doi.org/10.1016/0077-7579(87)90015-9)
- Saba, V. S.; Friedrichs, M. A. M.; Antoine, D.; Armstrong, R. A.; Asanuma, I.; Behrenfeld, M. J.; Ciotti, A. M.; Dowell, M.; Hoepffner, N.; Hyde, K. J. W.; Ishizaka, J.; Kameda, T.; Marra, J.; Mélin, F.; Morel, A.; O'Reilly, J.; Scardi, M.; Smith Jr., W. O.; Smyth, T. J.; Tang, S.; Uitz, J.; Waters, K. and Westberry, T. K. 2011. An evaluation of ocean color model estimates of marine primary productivity in coastal and pelagic regions across the globe. **Biogeosciences 8**: 489-503. doi:10.5194/bg-8-489-2011.
- Santos, T. G.; Bezerra-Junior, J. L.; Costa, K. M. P. e Feitosa, F. A. N. 2009. Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Baía do Pina, Recife, PE). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca 4** (1): 95-109.
- Schettini, C. A. F.; Resgalla Jr., C.; Pereira Filho, J.; Silva, M. A. C.; Truccolo, E. C. e Rörig, L. R. 2005. Variabilidade temporal das características oceanográficas e ecológicas da região de influência fluvial do rio Itajaí-Açu. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology 9** (2): 93-102.
- Schroeder, W. W.; Dinnel, S. P.; Wiseman Jr, W. J. and Merrell Jr., W. J. 1987. Circulation patterns inferred from the movement of detached buoys in the eastern Gulf of Mexico. **Continental Shelf Research 7** (8): 883-894.
- Silva, M. H.; Passavante, J. Z. O.; Silva-Cunha, M. G. G.; Vieira, D. A. N.; Grego, C. K. S. e Muniz, K. 2004. Distribuição espacial e sazonal da biomassa fitoplanctônica e

- dos parâmetros hidrológicos no estuário do rio Formoso (rio Formoso, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography** **32** (1): 89-106.
- Smith Jr., W. O. and Demaster, D. J. 1996. Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: correlation with seasonal river discharge. **Continental Shelf Research** **16** (3): 291-319.
- Solanki, H. U.; Pradhan, Y.; Dwivedi, R. M.; Nayak, S.; Gulati, D. K. and Somvamshi, V. S. 2005. Application of QuikSCAT SeaWinds data to improve remotely sensed Potencail Fishing Zones (PFZs) forecast methodology: Preliminary validation results. **Indian Journal of Marine Sciences** **34** (4): 441-448.
- Song, X.; Lai, Z.; Ji, R.; Chen, C.; Zhang, J.; Huang, L.; Yin, J.; Wang, Y.; Lian, S. and Zhu, X. 2012. Summertime primary production in northwest South China Sea: Interaction of coastal eddy, upwelling and biological processes. **Continental Shelf Research** **48**: 110–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2012.07.016>
- Souza, R. B. 2003. Sensoriamento Remoto dos Oceanos. **Espaço e Geografia** **6** (1): 127-149.
- Stegmann, P. M.; Lewis, M. R.; Davis, C. O. and Cullen, J. J. 1992. Primary Production Estimates from Recordings of Solar-Stimulated Fluorescence in the Equatorial Pacific at 150°W. **Journal of Geophysical Research** **97** (1): 627–638, doi:10.1029/91JC02014.
- Thomas, A.; Byrne, D. and Weatherbee, R. 2002. Coastal sea surface temperature variability from Landsat infrared data. **Remote Sensing of Environment** **81** (2–3): 262–272. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00004-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00004-4)
- Thomas, A. C. and Weatherbee, R. A. 2006. Satellite-measured temporal variability of the Columbia River plume. **Remote Sensing of Environment** **100**: 167-178.
- Walker, N. D. 1996. Satellite Assessment of Mississippi River Plume Variability: Causes and Predictability. **Remote Sensing Environmental** **58**: 21-35.
- Werdell, P. J.; Bailey, S. W.; Franz, B. A.; Harding Jr., L. W.; Feldman, G. C. and McClain, C. R. 2009. Regional and seasonal variability of chlorophyll-a in Chesapeake Bay as observed by SeaWiFS and MODIS-Aqua. **Remote Sensing of Environment** **113** (6): 1319–1330. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.02.012>
- Wolanski, E.; Pickard, G. L. and Jupp, D. L. B. 1984. River plumes, Coral Reefs and mixing in the Gulf of Papua and the northern Great Barrier Reef. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** **18** (3): 291-314.
- Wolanski, E. and Thomson, R.E. 1984. Wind-driven circulation on the northern Great Barrier Reef continental shelf in summer. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** **18** (3): 271–289. [http://dx.doi.org/10.1016/0272-7714\(84\)90072-6](http://dx.doi.org/10.1016/0272-7714(84)90072-6)
- Valentin, J. L. and Coutinho, R. 1990. Modelling maximum chlorophyll in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: a preliminary approach. **Ecological Modelling** **52**: 103–113. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-3800\(90\)90011-5](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3800(90)90011-5).

Volpe, G.; Nardelli, B. B.; Cipollini, P.; Santoleri, R. and Robinson, I. S. 2012 Seasonal to interannual phytoplankton response to physical processes in the Mediterranean Sea from satellite observations. **Remote Sensing of Environment** **117**: 223–235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.020>

### 3 Artigo

#### Variabilidade temporal de clorofila *a* da zona costeira do Nordeste brasileiro

J. L. Rosa Neto; C. R. Fragoso Jr.; A. M. Malhado & R. J. Ladle

#### 3.1 Introdução

Zonas costeiras possuem um considerável papel nos ciclos biogeoquímicos, em função de todo o material derivado do continente (e.g. água, sedimentos, nutrientes particulados e dissolvidos) que entra nesta região através do escoamento superficial e subterrâneo. Apesar de cobrir aproximadamente 7% da superfície global do oceano, as zonas costeiras se destacam por deter aproximadamente 15% da biomassa fitoplanctônica global, indicando ser um ambiente altamente produtivo em relação a sua área (Le Fèvre, 1987; Cullen et al., 2002). Por isso, conhecimento da variabilidade espaço-temporal dos produtores primários em zonas costeiras é de suma importância para um entendimento ecossistêmico integrado (Pauly & Christensen, 1995; Acha et al., 2004; Cury et al., 2005; Fragoso Jr. et al., 2011).

A variabilidade do fitoplâncton em regiões costeiras depende de diversos fatores ambientais tais como vento, temperatura da superfície do mar, corrente, radiação solar e concentração dos componentes químicos dissolvidos na água (Del Castillo & Miller, 2008; Quigg et al., 2011) e a descarga de águas fluviais (Smith Jr. & Demaster, 1996; Walker, 1996; D'Sa & Miller, 2003), que aportam nutrientes e matéria orgânica para estas regiões (Cadée, 1975; Medeiros et al. 2011). Padrões espaciais de ventos também podem alterar a dinâmica dos produtores primários na região interna da plataforma continental, atuando como forte indutor dos movimentos das correntes continentais e, conseqüentemente, de transporte de nutrientes (Schroeder et al., 1987; Hall & Davies, 2002; D'Sa & Ko, 2008; Muscarella et al., 2011). Tais padrões hidrodinâmicos dependem da largura e profundidade da plataforma continental (Lima et al., 1996), pois diferente de regiões com plataformas estreita e rasas, as regiões com plataforma larga e profunda apresentam fenômenos de Upwelling e Downwelling como

determinantes no constante soerguimento de partículas de nutrientes, contribuindo para uma elevada concentração de clorofila *a* nesta região (Acha *et al.*, 2004; Thomas & Weatherbee, 2006). Além disso, as águas rasas das plataformas continentais também sofrem uma maior influência da temperatura na água, promovendo um maior crescimento de organismos fotossintetizantes (Eppley, 1972; Rasheed *et al.*, 2008).

Outro fator que exerce forte influência na concentração de clorofila *a* costeira, ainda que em escala regional, é a presença de barreiras de recifes de coral que promovem o controle do crescimento de fitoplâncton pela ocorrência do maior número de herbívoros, exercendo um controle top-down (Wolanski *et al.*, 1984; Burrage, *et al.*, 1996).

Um progresso mais significativo do entendimento da sazonalidade e distribuição espacial da produtividade primária marinha ocorreu a partir do surgimento do monitoramento por sensoriamento remoto, que se iniciou na década de 70, do século passado (Chassot *et al.*, 2011). Este monitoramento permitiu auxiliar o entendimento destes fenômenos em escala regional e global, a partir da interpretação matemática das imagens multiespectrais da superfície da água (McCluney, 1976). Além de estimar a concentração de clorofila *a* na superfície e suas variações espaço-temporais nos oceanos (Campbell & O'Reilly, 1988), outras variáveis inerentes à trofodinâmica marinha também passaram a ser monitoradas por satélites, tais como temperatura da superfície da água (Pérez *et al.*, 2005; Lorenzzetti *et al.*, 2009), radiação solar (Campbell & O'Reilly, 1988), vento (Solanki *et al.*, 2005) e plumas de sedimentos na foz de rios (Thomas & Weatherbee, 2006).

A vantagem do uso desta ferramenta é a capacidade de captar informações em escala global e por longos períodos de tempo, o que permite elaborar conceitos macro ecológicos do ecossistema marinho (Barnes *et al.* 2011; Chassot *et al.*, 2011). Bem como compreender o efeito de mudanças climáticas nos padrões físico-químicos e biológicos de ecossistemas marinhos (D'Sa & Ko, 2008), de alterações ecológicas-ambientais em zonas costeiras em virtude da ocupação humana (Gons *et al.* 2002), com a finalidade de conceber planos de gestão costeira, principalmente no manejo das atividades de exploração de recursos pesqueiros (Solanki *et al.*, 2005; Thomas &

Weatherbee, 2006). De maneira que a geração de tal conhecimento ecológico/ambiental está atrelada aos dados de sensores ópticos, os quais servem de base para elaborações de modelos ecológicos para compreensão e previsão da dinâmica do ecossistema costeiro (Gohin et al., 2005; Chassot et al., 2011).

Dentre os diversos sensores disponíveis (e.g. SeaWifs, MERIS), o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) destaca-se por ter sido a primeira ferramenta dos satélites de “*Earth Observing System*” (EOS) na condução das pesquisas de mudanças globais, com estimativas da distribuição espacial de clorofila *a* nos oceanos, desde julho de 2002 (Salomonson et al., 1989). Vários estudos têm apresentado resultados satisfatórios quanto ao uso de suas imagens espectrofotométricas para estimativa da concentração de clorofila *a* nos biomas terrestres (e.g. Turner, 2006) e marinho (e.g. Dall’Olmoa et al., 2005; Kampel et al., 2009; Quispe et al., 2010), indicando boas correlações quando comparado com valores *in situ* e com estimativas de outros satélites (e.g. SeaWifs vs MODIS algoritmo OC4v4) (Gregg & Casey, 2007; Werdell et al., 2009; Pan et al., 2010).

Atualmente seu acentuado uso em pesquisas se deve também ao fato de sua melhor resolução espacial e temporal em relação aos outros sensores orbitais da concentração de clorofila *a* na superfície do mar (Salomonson et al., 1989; Esaias et al., 1998; McClain et al., 2006) e pela melhor precisão de suas estimativas de clorofila *a*, dada pelo emprego do algoritmo OC3M (função polinomial de quarta ordem ajustada os dados observados que usa três faixas de Reflectância) (O’Reilly et al., 2000).

Imagens de satélites fornecem uma grande quantidade de informações em função da abrangência espacial da região de estudo e de resolução espaço-temporal das imagens, o que dificulta a interpretação de padrões. Isto sugere o emprego de ferramentas e técnicas que busquem simplificar e filtrar os padrões espaço-temporais mais relevantes. Dentre as diversas técnicas para avaliar a variabilidade de características físico-químicas em ambientes costeiros (e.g. Gong et al., 2000; Hu et al., 2004; Medeiros et al. 2011; Callejas-Jimenez et al., 2012), a análise multivariada através de Funções Ortogonais Empíricas (FOE) se constitui de uma poderosa ferramenta para análise de uma grande quantidade de dados, proporcionando uma



interpretação rápida e simples de associações e padrões espaço-temporais (Hall & Davies, 2002; Skagseth & Orvik, 2002; Nezlin & McWilliams, 2003), além de ser eficiente em filtrar ruídos (Hoffman & Johnson, 1994). Esta ferramenta foi aplicada em recentes estudos visando o esclarecimento de padrões sazonais e espaciais de variáveis ambientais marinhas inerentes à concentração de clorofila *a* (e.g. Lihan et al., 2008; Radiarta & Saitoh, 2008; Callejas-Jimenez et al., 2012). Sobretudo, é eficaz em estabelecer padrões físicos e biológicos em zonas costeiras onde não é possível obter dados *in situ* (Gallaudet & Simpson, 1994; Keiner & Yan, 1997; Volpe et al., 2012).

Aqui investigamos o papel dos fatores ambientais (i.e. vento, regime hidrológico, correntes, radiação fotossinteticamente ativa e temperatura da superfície da água) na variabilidade temporal e espacial da concentração de clorofila *a* ao longo de toda a zona costeira do Estado de Alagoas, localizado na região Nordeste do Brasil.

## **3.2 Material e método**

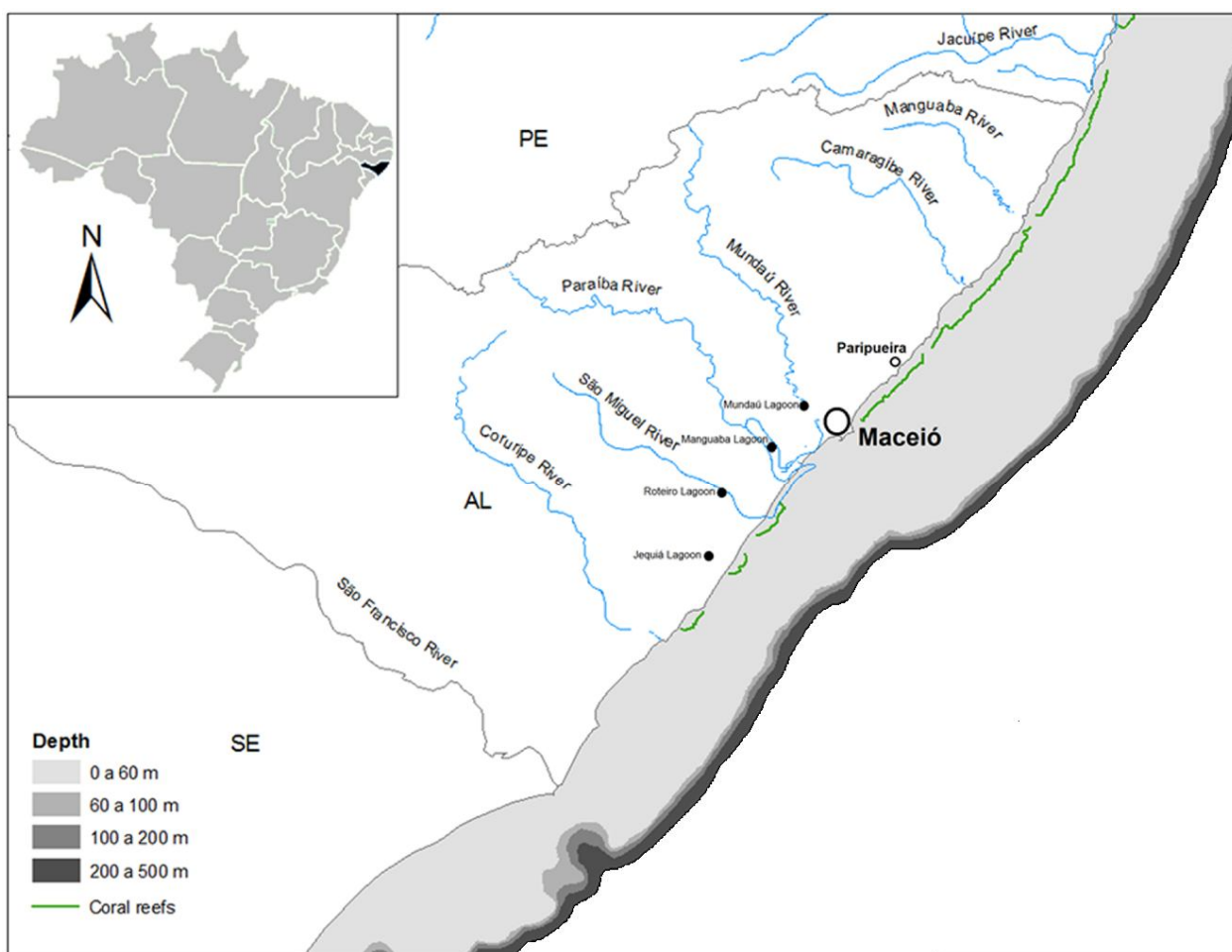
### **3.2.1 Área de Estudo**

A área de estudo corresponde à costa do Estado de Alagoas, nordeste brasileiro, o qual possui 212 km de extensão. Os limites considerados neste estudo compreendem as latitudes de 8°64'78" a 10°85'67" e longitudes de 34°46'23" a 36°92'09", as quais no continente abrangem as divisas com os estados de Pernambuco (PE), ao Norte, e Sergipe (SE), ao Sul (Fig. 1). A região apresenta uma estreita plataforma continental que varia entre 18 e 15 km na linha costeira ao Norte (ao norte da cidade de Maceió), e de 6 e 10 km na linha costeira ao Sul, com quebra a partir da isóbatas de 60 até 100 m (Araújo et al., 2006). A zona costeira Norte é marcada pela presença da Área de Proteção Ambiental (APA) da Costa dos Corais, que apresenta 4.590 km<sup>2</sup> de formações rasas de arenito e corais, que vai desde Paripueira – AL (Fig. 1) até Tamandaré – PE (esta está além dos limites da área de estudo), com extensas faixas distribuídas quase que paralelamente a linha de costa, entre as isóbatas de 16 e 22 m (Camargo et al., 2007).

A zona costeira Sul é caracterizada pela presença do estuário do rio São Francisco e a presença de diversas formações estuarinas lagunares, destacando-se em

termos de abrangência espacial as lagoas Mundaú, Manguaba, de Jequiá e do Roteiro. (Oliveira & Björn, 1993).

Todas essas características fazem da costa alagoana uma bacia representativa da costa nordestina do Brasil, mas também para outras zonas tropicais, pois reúne uma grande diversidade de feições ambientais (i.e. elevada descarga de rios, grandes formações lagunares, formações recifais em boca de rios ou não), no entanto esta região difere topograficamente da costa sul-sudeste brasileira, de tal forma que o vasto conhecimento das feições costeiras dessas regiões não é aplicável à dinâmica físico-química e biológica da presente área em estudo.



**Figura 1.** Zona costeira do Estado de Alagoas no Nordeste brasileiro, com caracterização da hidrografia dos principais rios, ocorrência de barreiras de corais (fonte: ReefBase / UNEP-WCMC) e batimetria da região (fonte: SRTM30 Plus V7.0).

### 3.2.2 Grupo de dados

Para avaliação dos fatores ambientais que influenciam a concentração de clorofila *a* na área de estudo foram consideradas as seguintes variáveis: (a) temperatura da superfície do mar (TSM), (b) intensidade da corrente, (c) intensidade do vento (d) radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e (e) vazão dos rios de maior porte hidrológico na área de estudo. Os dados de SST, corrente, vento e radiação ativa foram advindos dos sensores Pathfinder Ver 5.0-Day (grid resolution 0,043°), Geostrophic-Aviso (grid resolution 0,25°), QuikSCAT (grid resolution 0,125°) e MODIS, respectivamente. Todos estes dados foram obtidos através do site do NOAA (<http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/>), considerando a mesma frequência e período das estimativas de clorofila *a*.

Estimativas de clorofila *a* pelo sensor Aqua-MODIS Level-2 (bandas 8 - 16), com uma resolução geoespacial de 0,041 graus (1 km), foram obtidas no banco de dados do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) - *National Oceanographic Data Center (NODC)*, que forneceu as médias mensais para a região de estudo no período de julho de 2002 a novembro de 2008 (<http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/>). Estas estimativas foram derivadas através do algoritmo empírico OC3M (O'Reilly *et al.*, 2000), as quais apresentam uma boa correspondência com dados de clorofila *a* medidos *in situ* na região costeira do Nordeste Brasileiro ( $R^2 > 0,82$ ,  $n = 8$ ) (dados do SeaBass/NASA database, 2012), apresentando ainda uma correlação mais alta ( $R^2 > 0,84$ ,  $n = 45$ ) considerando toda a costa da América do Sul.

Eventuais falhas nas matrizes espaciais de clorofila *a* (~ 0,5 % das células) em função da cobertura de nuvens foram preenchidas através da correlação entre variáveis nas células que apresentavam falhas (área de 1.000 m<sup>2</sup>). Nos casos de impossibilidade da elaboração destas correlações, as falhas foram preenchidas através do cálculo da média entre os valores das células vizinhas.

Os postos fluviométricos próximo a cada foz dos rios Jacuípe (área de drenagem de 6.740,3 km<sup>2</sup>), Manguaba (1.528,3 km<sup>2</sup>), Camaragibe (1.749,9 km<sup>2</sup>),

Mundaú (4.126,7 km<sup>2</sup>), Paraíba do Meio (3.145,2 km<sup>2</sup>), São Miguel (2.222,5 km<sup>2</sup>), Coruripe (2.013,2 km<sup>2</sup>) e São Francisco (639.219,00 km<sup>2</sup>) (ver Fig. 1) foram selecionados para avaliar o efeito de nutrientes e matéria orgânica das principais bacias adjacentes na concentração de clorofila *a* da região de estudo. Os dados diários de nível da água dos principais rios com foz na área de estudo foram coletados a partir do banco de dados da Agência Brasileira Nacional de Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br/>). Foram calculadas as médias mensais de nível de água de cada posto a partir dos registros diários observados para o período de análise.

### 3.2.3 Análise Espacial

Foi realizada uma regressão múltipla para testar a associação entre a concentração de clorofila *a* e as demais variáveis ambientais (vento, TSM, corrente e RFA), assumindo o nível de significância de  $p < 0,01$ .

Uma análise de Função Ortogonal Empírica multivariada (Empirical Orthogonal Function - EOF) (Lorentz, 1956) foi aplicada na matriz sazonal (i.e. 77 tempos x1296 pontos) de clorofila *a* para destacar os principais padrões de variabilidade no espaço e no tempo. Adicionalmente foram mapeadas as matrizes dos autovetores do primeiro e segundo eixo a fim de evidenciar as áreas com variação similar de clorofila *a*, e consequentemente indicar os principais fatores ambientais governantes dessa variabilidade espacial na primeira e segunda componentes. Para a determinação da correlação espacial entre a clorofila *a* e os valores das cotas dos rios foram tomados os valores das médias mensais de cada rio e correlacionada com os valores de clorofila *a* para cada coordenada geográfica (resolução 0,041<sup>o</sup>), compondo assim uma matriz de correlação espacial (i.e. de 1x1296) para cada rio num período de tempo de 77 meses.

Uma Análise de Cluster também foi utilizada na tentativa de elucidar possíveis agrupamentos espaciais, de acordo com a variabilidade dos valores de clorofila *a* em cada coordenada geográfica. As análises geoestatísticas multivariadas foram realizadas no software Palaeontological Statistics (PAST) e os mapas de saída foram produzidos no ArcGIS<sup>®</sup> 9.3.

### 3.3 Resultados

Foi observada uma considerável amplitude espacial nos valores de clorofila *a* (0,036 – 18,232 mg.m<sup>-3</sup>) no litoral do Estado de Alagoas.

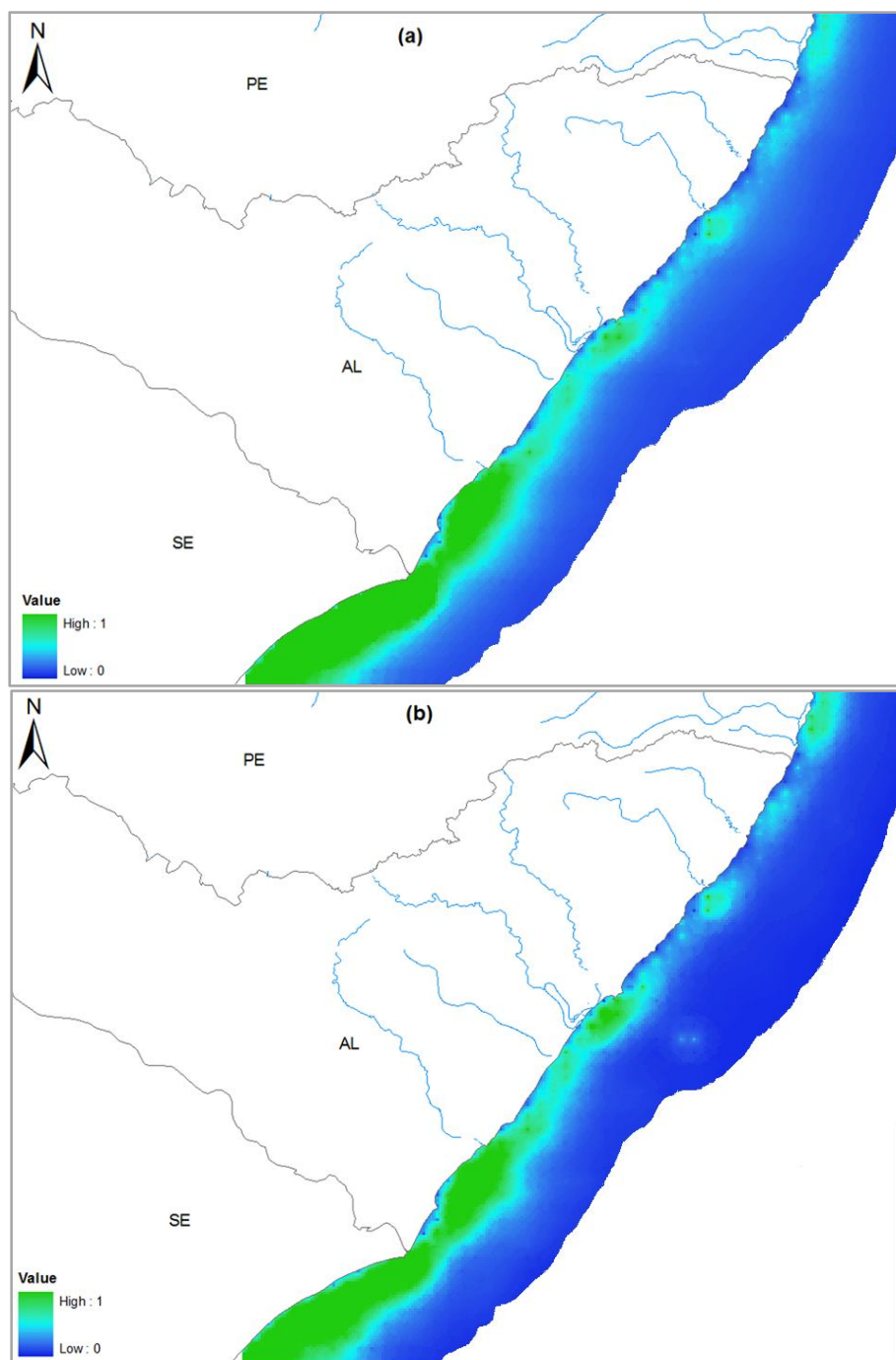
As áreas que apresentaram as médias mais elevadas de clorofila *a* e maiores desvios-padrão estão situadas na plataforma continental, até 50 m de profundidade; e latitudinalmente, a porção sul da costa de Alagoas apresentou valores médios e desvios-padrão mais elevados da concentração de clorofila *a* (Fig. 2).

A análise de regressão múltipla mostrou resultados significativos entre as variáveis independentes (TSM, vento, corrente e RFA) e dependentes (clorofila *a*), no entanto, o coeficiente de determinação teve pouco poder explicativo ( $R^2 = 0,385$ ,  $n = 41.965$ ) (Tabela 1).

Outra evidência dessa correspondência pode ser vista através da sazonalidade dessas variáveis (Fig. 3), onde os valores médios mais elevados de clorofila *a* apresentam-se no mesmo período de ocorrência dos altos valores de intensidade de corrente (i.e. entre maio e agosto), e igual período para os valores mais baixos (i.e. entre outubro e fevereiro). As demais variáveis também apresentaram uma variação sazonal marcante, porém não similar à clorofila *a*. Estando os maiores valores de ventos entre junho e setembro e menores entre janeiro e abril. Quanto à TSM apresentou as maiores médias entre os meses de fevereiro a maio e menores em agosto e setembro. E a RFA tendo os meses de novembro a janeiro com maiores médias e o período de maio a julho com os menores valores.

Os regimes hidrológicos dos rios da área de estudo apresentaram um padrão sazonal marcante. Com altas descargas ocorrendo entre os meses de maio e agosto e baixas descargas (período seco). Tal variação sazonal teve um ciclo sazonal similar para as médias da concentração de clorofila *a* (i.e. 0,338 mg m<sup>-3</sup> para o período chuvoso e de 0,184 mg m<sup>-3</sup> para o período de estiagem, ver Figura 4). No entanto, o regime hidrológico do Rio São Francisco apresentou padrão sazonal oposto, com as maiores médias de descarga no período de setembro a abril (336,02 cm), e menores médias entre maio e agosto (218,99 cm), podendo essa alteração de sua vazão sazonal natural ser decorrente da extensão geográfica da bacia que nasce no sudeste do Brasil

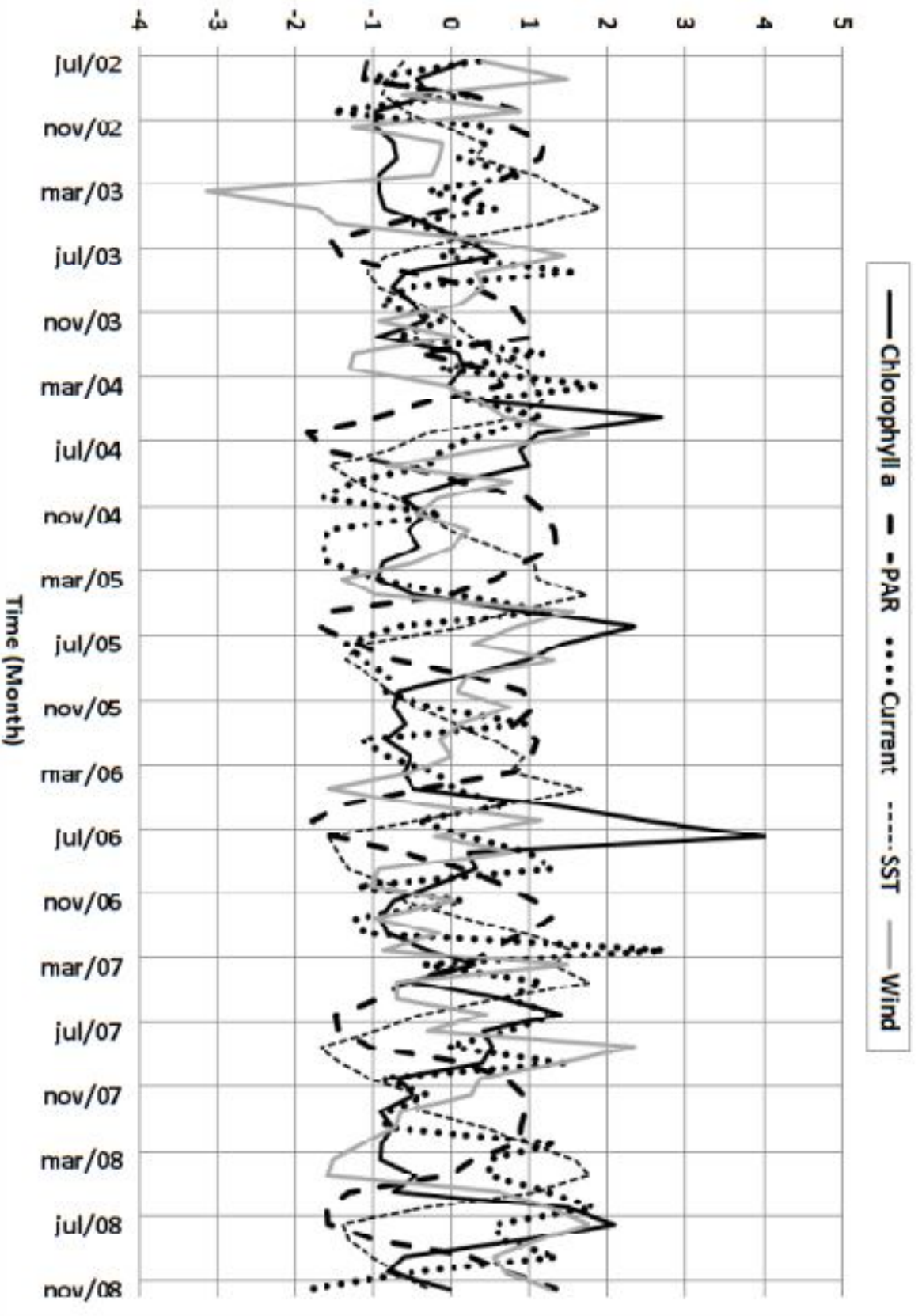
(sazonalidade pluviométrica diferente do nordeste do Brasil) e da presença de barragens ao longo do curso do rio, alterando assim o regime e o potencial hidrológico (Figura 5).



**Figura 2.** Valores médios (a) e desvios-padrão (b) da concentração de clorofila a.

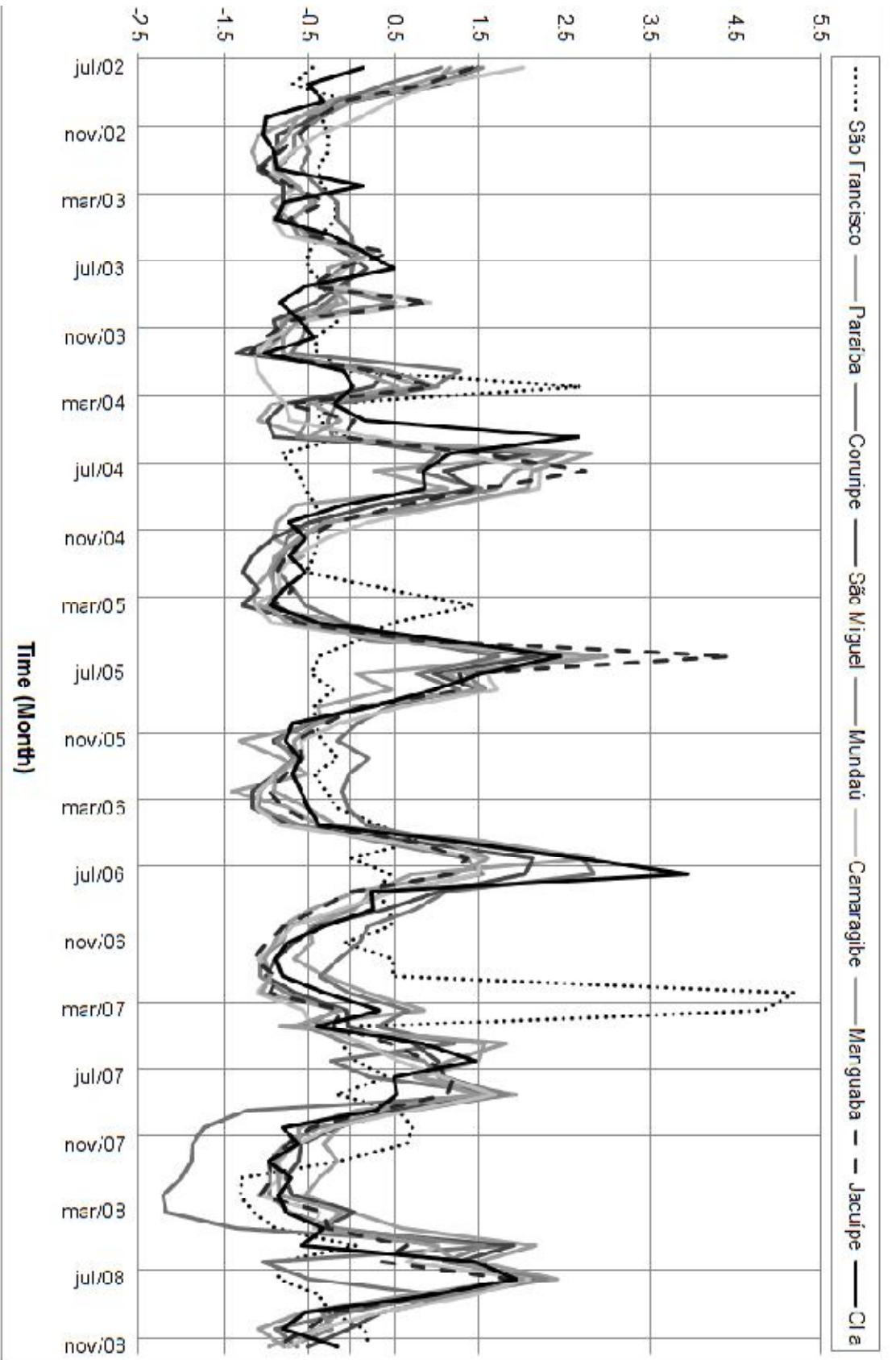
**Tabela 1.** Análise de regressão múltipla entre as variáveis ambientais e a concentração de clorofila a.

<b>Variável</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>P</b>
RFA	-0,018843062	0,000534	2,7422 <sup>-269</sup>
Corrente	2,236715706	0,017202	0,000
TSM	-0,075177223	0,003434	1,1652 <sup>-105</sup>
Vento	0,029850693	0,001989	8,5307 <sup>-51</sup>



**Figura 3.** Variação sazonal dos valores médios mensais de clorofila *a*, corrente, vento, Temperatura da superfície do mar e Radiação fotossinteticamente ativa. (valores normalizados).





**Figura 4.** Variação dos valores médios de cotas dos rios e dos valores médios mensais de clorofila a. (valores normalizados).

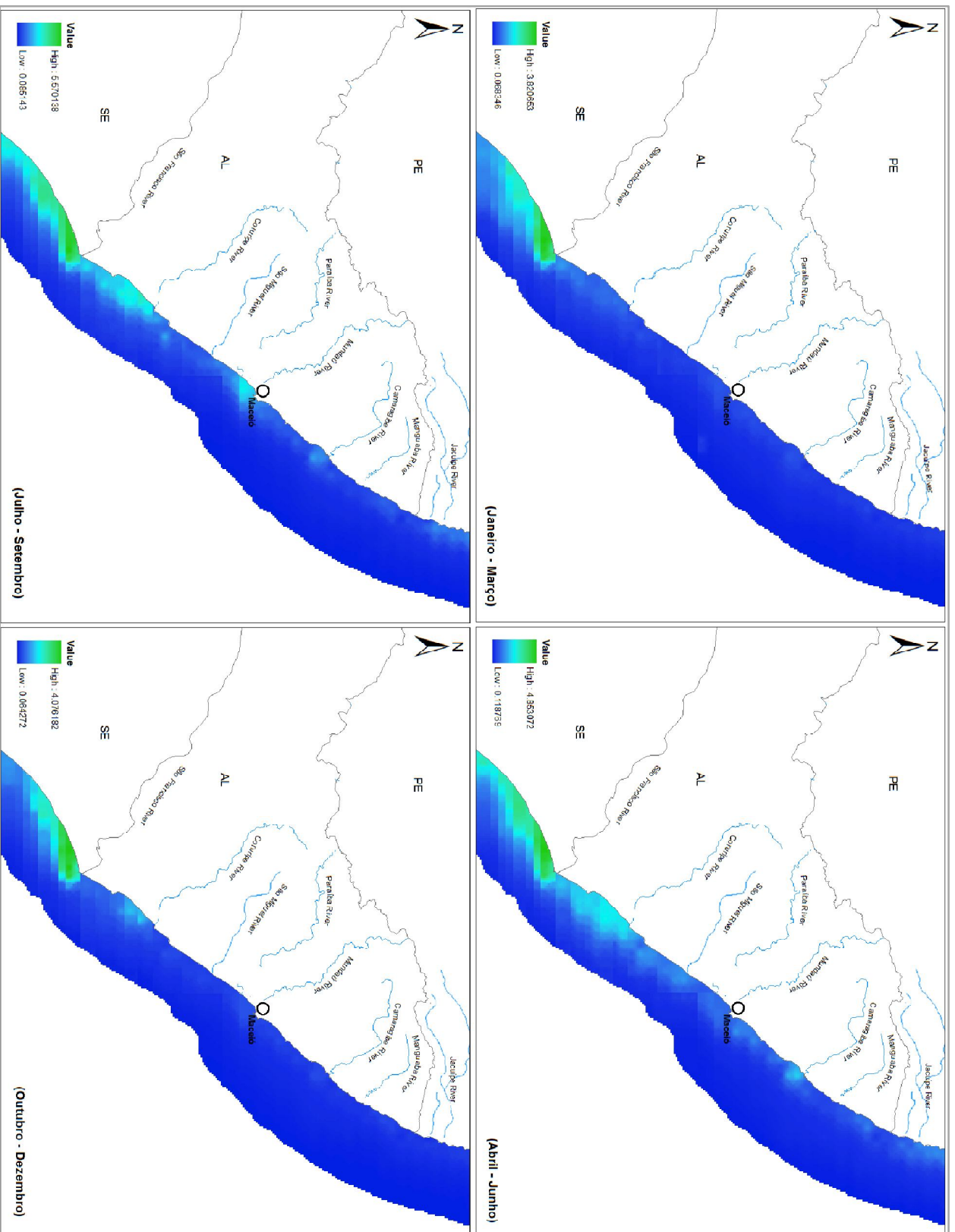
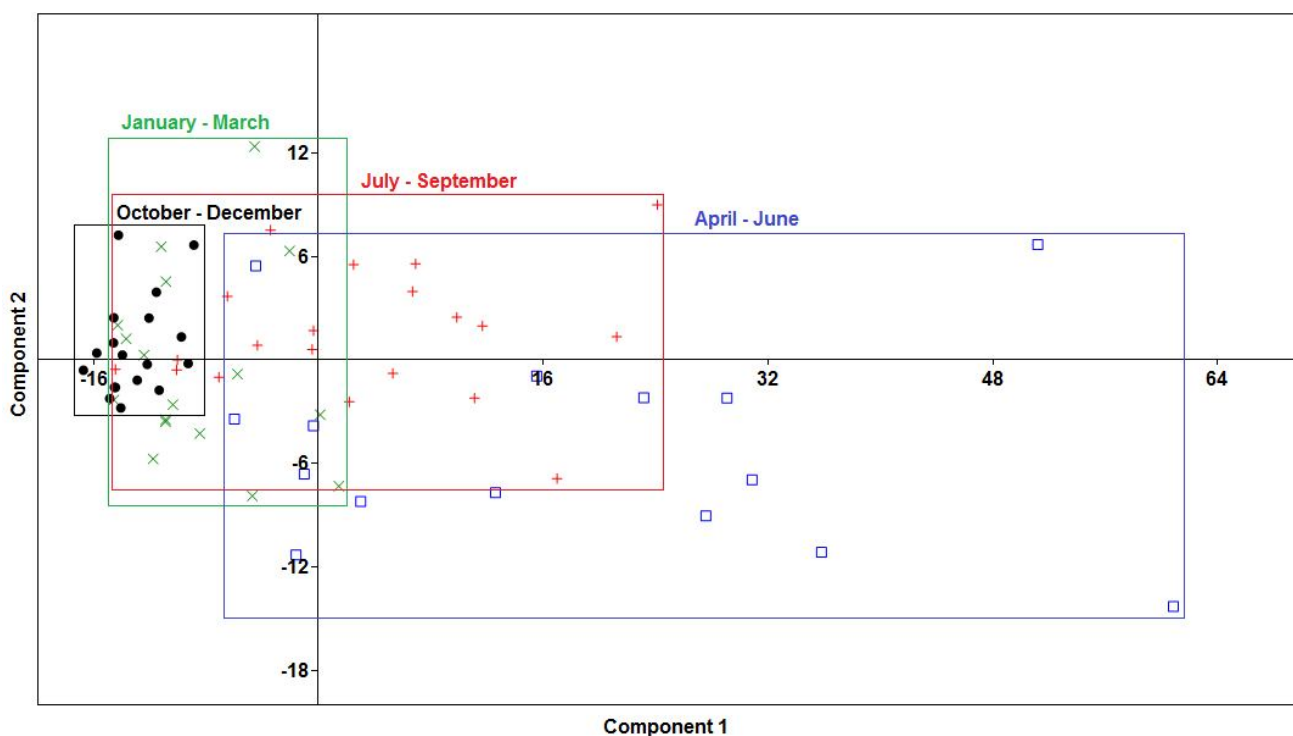


Figura 5. Variabilidade trimestral da concentração de clorofila a na costa alagoana.

A análise Função Ortogonal Empírica (EOF) permitiu avaliar a variabilidade das concentrações de clorofila *a* no tempo e no espaço. As duas primeiras componentes foram as mais explicativas, tanto estatisticamente quanto em relação aos fatores físicos. As três primeiras componentes somadas explicaram aproximadamente 67,17% da variabilidade total dos dados (1º eixo = 53,60%; 2º eixo = 9,16% e 3º eixo = 4,41%). A EOF evidenciou apenas uma divisão sazonal marcante na variabilidade dos valores de clorofila *a* entre dois trimestres: (a) abril/maio/junho e (b) outubro/novembro/dezembro, podendo essa variação temporal estar associada às características sazonais da região, tais como regime hidrológico das bacias hidrográficas, pluviometria, intensidade de ventos e efeito das correntes.

Contudo, em um panorama geral, a variação das concentrações de clorofila *a* entre esses períodos não é bem marcada, compondo assim um bloco único anual, com variações suaves que se sobrepõem no decorrer do ano (Fig. 6).

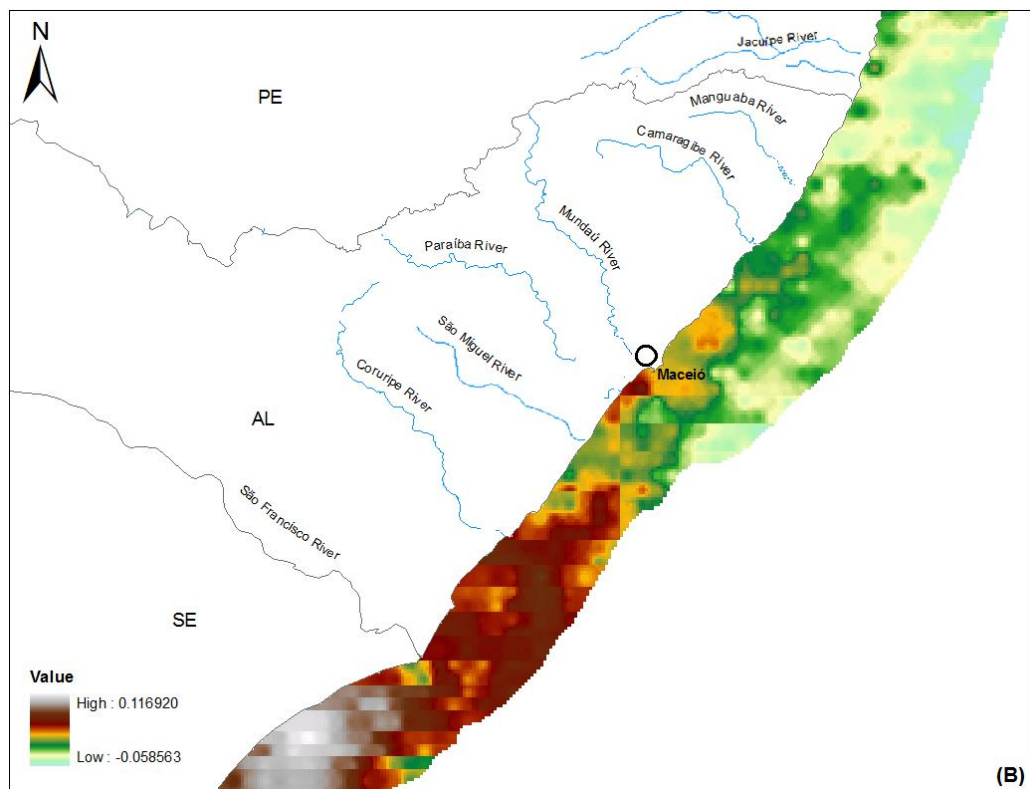
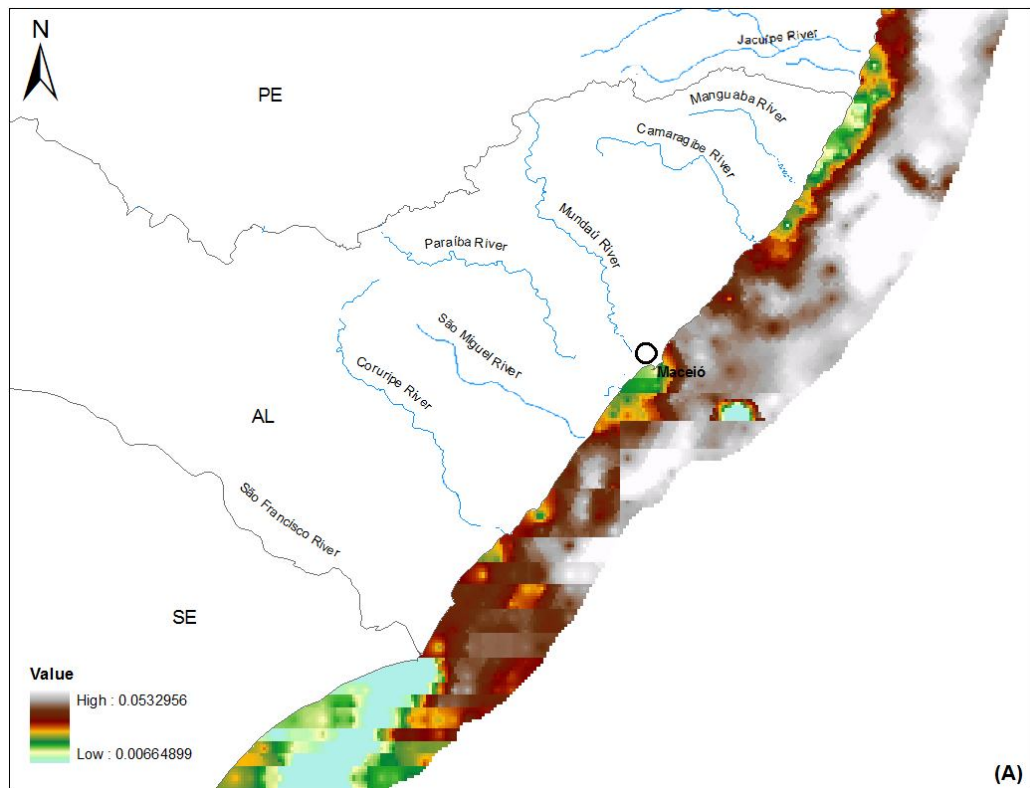


**Figura 6.** Função Ortogonal Empírica dos valores das médias mensais de clorofila *a*.

As matrizes espaciais de autovetores da primeira e segunda componente da EOF estão apresentadas na Figura 7. Os autovetores da primeira componente consistem em valores positivos para todo o domínio (Fig. 6a), com valores mais elevados na região central de estudo (entre as isóbatas de 40 a 100 m), indicando similaridade da variabilidade das concentrações de clorofila *a* nesta área.

A região costeira apresentou dois núcleos espaciais de similaridade da variabilidade e de maiores concentrações de clorofila *a*. O primeiro núcleo compreende uma faixa litorânea iniciando na foz do Rio São Francisco em direção ao Sul (da costa até a isóbata de aproximadamente 40 m) e o segundo núcleo de similaridade é composto pela região próxima à foz do Rio Mundaú (parte central, região metropolitana de Maceió) e pela região compreendida entre a foz do Rio Santo Antônio e a foz do Rio Una (costa Norte de Alagoas) (Fig. 7a).

Quanto a segunda componente da EOF, os autovetores apresentaram uma distribuição latitudinal, com uma separação marcante entre as regiões norte e sul da costa, constituída por valores positivos e negativos (46 % e 54 %, respectivamente), com os valores mais elevados na região sul da plataforma (Fig. 7b).



**Figura 7.** Autovetores da primeira (A) e segunda (B) componente da EOF de clorofila a.

As correlações dos valores das cotas mensais dos rios com a concentração de clorofila a revelaram como a magnitude de vazões ou a sazonalidade de cada rio está relacionada com a variabilidade da concentração de clorofila a em suas fozes (Tabela 2).

**Tabela 2.** Correlações entre a clorofila a e os níveis da água dos principais rios da costa de Alagoas.

<b>Rio</b>	<b>Correlação (p &lt; 0.01)</b>	<b>Área de maior correlação</b>
Jacuípe	0,76	≅ Entre as isóbatas de 30-80 m
Manguaba	0,76	≅ Entre as isóbatas de 30-80 m
Camaragibe	0,72	≅ Entre as isóbatas de 30-80 m
Mundaú	0,71	Junto a sua foz (até ≅ 30 m)
Paraíba	0,72	≅ Entre as isóbata de 50-500 m
São Miguel	0,72	≅ Entre 20-500 m em frente a sua foz
Coruripe	0,73	≅ Entre as isóbatas de 100-500 m
São Francisco	0,29	Junto a sua foz (até ≅ 500 m)

A análise de Cluster foi obtida por meio dos valores clorofila a de cada coordenada em tempos específicos, a partir de então foi tomado como valor de similaridade de 0,45 para a subdivisão dos grupamentos, o que compôs sete grupamentos (Fig. 8). Esta subdivisão mostrou a predominância de um grupamento localizado mais na porção central, e grupos menores espaçados ao longo da costa: quatro grupamentos concentrados mais ao sul, próximo ao rio São Francisco; um logo acima próximo à bacia rio Coruripe; outro ao centro, próximo da cidade de Maceió; um mais ao norte, nas Regiões Hidrográficas dos rios Jacuípe, Camaragibe e Manguaba. De acordo com a similaridade apresentada no dendograma da análise de cluster, os dois grupos mais próximos da foz do rio São Francisco (Grupamento 1 e 2) tiveram uma similaridade de ~ 0,13 em relação aos outros cinco grupamentos e ~ 0,25 entre os dois. Entre os cinco grupamentos restantes (3, 4, 5, 6 e 7) o valor de similaridade foi de ~ 0,25. Dentre eles, o Grupo 7 foi mais correlacionado com o

grupamento 6 (~ 0,32). Por fim, os três grupamentos 3, 4 e 5, têm uma similaridade de ~ 0,36, sendo a dupla com maior similaridade espacial o grupamento 4 e 5 com ~ 0,41.

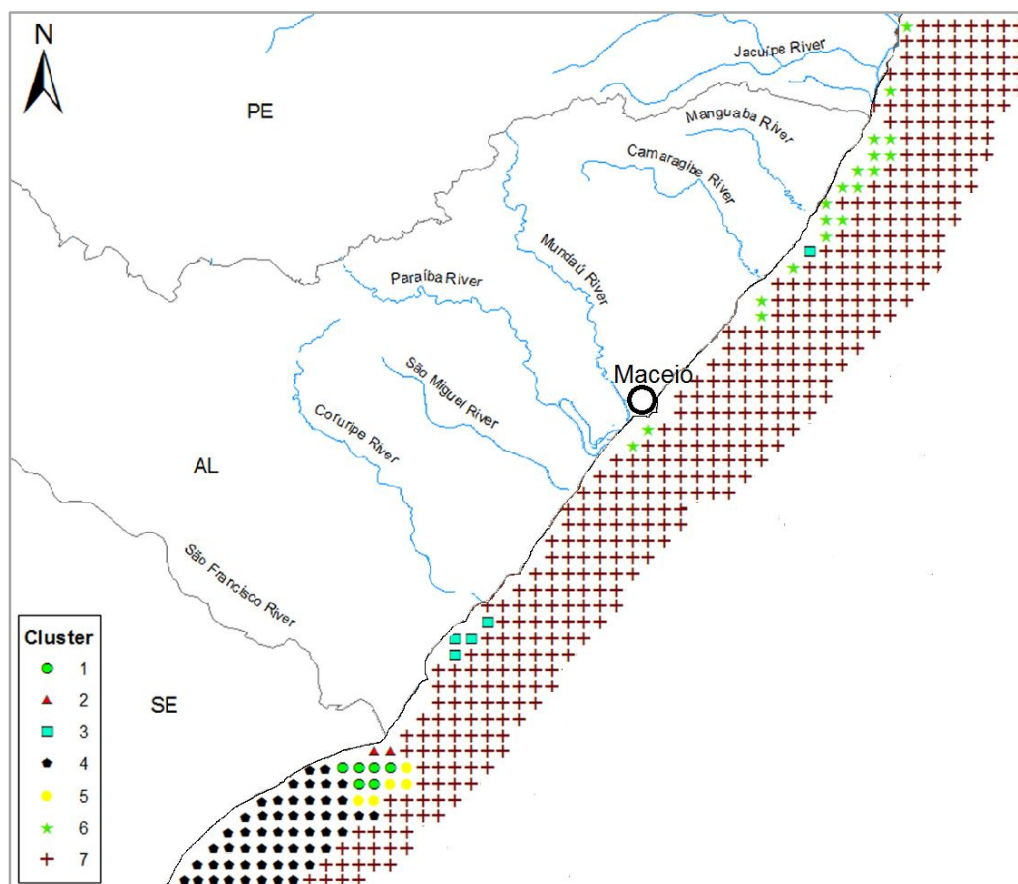


Figura 8. Análise de cluster da similaridade espacial dos valores da concentração de clorofila a.

### 3.4 Discussão

A clorofila a teve uma maior correlação com a corrente, provavelmente em função da formação de correntes superficiais na camada mais rasa da plataforma (Musacarella et al., 2011).

O efeito dos ventos também apresentou uma correlação positiva, mas não tão forte quanto a corrente, possivelmente porque o efeito do vento sobre a produção de clorofila a está mais associado à hidrodinâmica de águas rasas da plataforma (Schroeder et al., 1987) e, conseqüentemente, na dissipação das plumas das

descargas dos rios, por estas correntes superficiais em associação com os ventos (Walker, 1996; D'Sa & Ko, 2008).

Quanto ao efeito da temperatura, as correlações baixas e negativas com a concentração de clorofila *a* é característica em regiões subtropicais (Arnone, 1987; Lutz et al., 2010) e mais forte para as zonas tropicais (Pérez et al., 2005; Barnes et al., 2011), esses coeficientes indicam que para a costa de Alagoas, apesar de estar localizada na faixa tropical (temperatura média da água em torno de 27,3 °C), a temperatura não é o principal fator responsável pela variabilidade sazonal da concentração de clorofila *a* na região. Assim como o efeito da disponibilidade de luz, tendo sua correlação também negativa com a concentração de clorofila *a* em virtude da sazonalidade pluviométrica, que no verão ocorre uma considerável redução, principalmente em zonas tropicais (Campbell & O'Reilly, 1988), ocasionando dessa forma, a diminuição do carreamento de nutrientes pelos rios. Logo, a sazonalidade da concentração de clorofila *a* nesta região não está diretamente associada à variação de temperatura e disponibilidade luminosa. Quanto às correlações negativas, elas não caracterizam esses dois fatores como limitantes à sazonalidade da concentração de clorofila *a*.

A sazonalidade da concentração de clorofila *a* na região de estudo está associada principalmente ao regime hidrológico das bacias adjacentes, onde, na maioria dos casos, determina a descarga de cada rio e sua sazonalidade (estação seca e chuvosa) (Lima et al., 1996). Adicionalmente, observou-se que as variações fluviométricas estão também correlacionadas com as alterações de vento e principalmente corrente inerente a cada estação. Estas alterações sazonais de fluviometria, vento e de correntes marinhas superficiais, são mais determinantes para a variação de clorofila *a* em regiões de pouca profundidade e esparsa extensão da plataforma, principalmente para profundidades até 100 m (D'Sa & Ko, 2008).

A análise de cluster mostrou a formação de cinco grupamentos interconectados próximos à região da foz rio São Francisco, mas os dois grupamentos mais próximos da foz desse rio (grupo 1 e 2) apresentaram uma similaridade muito baixa com os cinco grupos restantes, e para os outros dois grupamentos que circundam a foz do Rio São



Francisco (grupo 4 e 5) com os valores de similaridade mais altos. Tal heterogeneidade de padrões pode ser resultado dos impactos sofridos ao longo do curso do rio (e.g. construção de barragens e assoreamento), ou pela própria complexidade das características hidrodinâmicas e de dispersão da pluma de sedimentos e de nutrientes próximos da foz.

A diferença de magnitude de descarga de cada rio promoveu diferentes padrões espaciais de distribuição de clorofila *a* em função das características de suas plumas (e.g. Quigg et al., 2011). Walker (1996) reforça que tais diferenças espaciais se devem à abrangência espacial da pluma na foz de cada rio em função das características hidrodinâmicas na foz e magnitude da vazão dos rios. Esta abrangência espacial limita-se, aproximadamente, até a isóbata de 500 m para a região de estudo. Mallin et al. (1993) e Acha et al. (2004) destacaram a importância da compreensão dos eventos intrínsecos de cada bacia hidrográfica para a produtividade costeira regional, evidenciando uma grande correlação entre o fluxo dos rios e a concentração de clorofila *a*. No entanto, eles sugeriram também observar outras condições ambientais dessas bacias, por exemplo, como os efeitos antropogênicos sofridos por cada uma determinam, além das alterações na vazão, a mudança no padrão de descarga de nutrientes e, conseqüentemente, na concentração de clorofila *a* costeira (Silva et al., 2012). Isto pode explicar a elevada correlação entre as vazões do Rio Mundaú e a clorofila *a* em sua foz, apesar desta bacia ser considerada de médio porte com relação a sua área de drenagem.

Na foz do Rio São Francisco esta correlação foi baixa, mesmo possuindo a maior área de drenagem dentre todas as bacias. Medeiros et al. (2011) evidenciaram entre o período de 1984-2002 um redução dos níveis de nutrientes descarregados pelo rio em sua foz, o que corrobora com os nossos resultados (e.g. Kim et al., 2009), além disso, o rio São Francisco possui uma variabilidade em seu regime fluviométrico distinta das demais bacias, que depende da pluviometria de suas cabeceiras (região sudeste do Brasil). No entanto, mesmo com sazonalidade de regime hidrológico diferenciado do restante dos rios, o rio São Francisco, devido à dimensão de sua bacia hidrográfica, apresenta uma elevada concentração de clorofila *a* ao longo de todo ano.

Para o grupo de rios da região costeira do litoral norte de Alagoas as correlações foram altas e com distribuições espaciais também similares, apresentando as maiores correlações distante das fozes, entre as isóbatas de 30 a 60 m. Nesta região observa-se a elevada incidência de barreiras de corais, que potencialmente pode ter atuado como bloqueadoras do fluxo da descarga na foz dos rios (Wolanski et al., 1984; Burrage, et al., 1996). Foi observado que os maiores valores de clorofila *a*, encontravam-se na porção marginal das barreiras de corais ou em zonas de abertura entre corais (Acker et al., 2008), onde a hidrodinâmica é mais significativa (Fig. 2a). Adicionalmente, a EOF diferenciou esta região como distinta das demais, onde não há ocorrência de recifes ou eles não são suficientes para causar a barragem da água dos rios.

Para os Rios Paraíba e São Miguel, a área de correlação foi similar, mas diferenciando na intensidade em que essa correlação se distribuiu ao longo da costa, podendo tal diferença ser em função da área de drenagem da bacia de cada um dos respectivos rios (Acha et al., 2004). O Rio Coruripe assim como o São Miguel apresentou uma baixa correlação com a clorofila *a* em sua foz, tal relação pode ser explicada pelo tamanho similar da área de drenagem, e ainda por estar diretamente associado à área de influência da descarga do Rio São Francisco, principalmente na ocorrência de correntes na direção sudeste (Garcia et al., 2003).

As estimativas de clorofila *a* pelo sensor MODIS para o litoral de Alagoas mostraram ser adequadas quando comparadas com valores levantados *in situ* em regiões tropicais (Quispe et al., 2010) e no Nordeste brasileiro (SeaBass/NASA, 2012). Esta estimativa também mostrou ser adequada considerando o propósito do estudo que focou muito mais na variabilidade dos valores de clorofila *a*, onde o sensor apresenta uma menor incerteza na estimativa (Gitelson et al., 2007; Werdell et al., 2009), do que propriamente na magnitude de seus valores (maior incerteza). De maneira que foi possível concluir que o regime hidrológico apresentou-se como o fator indutor e condicionador da variabilidade espaço-temporal da concentração de clorofila *a*.

No entanto, vale ressaltar que existem certas limitações na atual capacidade da estimativa das concentrações de clorofila pelo sensor MODIS para zonas de elevada

turbidez da água e elevada incidência de nuvens (Darecki & Stramski, 2004; Gregg & Casey, 2007), apesar das recentes correções efetuadas no algoritmo OC3M em zonas com influência de sedimentos suspensos e nuvens (Shutler et al., 2007; Gitelson et al., 2007; 2008; Gurlin, et al., 2011).

A determinação da concentração de clorofila *a* através do sensor MODIS pode ser limitada principalmente em zonas sobre forte influência da dinâmica de grandes rios onde a Matéria Orgânica Dissolvida Colorida (MODC), superestimando os valores de clorofila (e.g. D'Sa & Miller, 2003), porém estudos já permitem a validação dos dados de concentração de clorofila *a* do MODIS mediante a elaboração de equações de correção da influência do MODC (e.g. Gitelson et al., 2008; Morel & Gentili, 2009). Além disso, o sensor MODIS tende a superestimar valores da concentração de clorofila *a* em áreas oligotróficas e subestimar os valores em áreas de alta produtividade (Turner, 2006). Desta forma, sugere-se a realização de mais levantamentos *in situ* de clorofila *a* na região de estudo, principalmente em regiões que apresentaram fortes gradientes de clorofila *a* no espaço e no tempo com a finalidade de melhorar a precisão da estimativa, em termos de magnitude de valores.

## Referências

- Acha, E. M.; Mianzan, H. W.; Guerrero, R. A.; Favero, M. & Bava, J. (2004). Marine fronts at the continental shelves of austral South America Physical and ecological processes. *Journal of Marine Systems*, volume 44, pages 83-105.
- Acker, J.; Leptoukh, G.; Shen, S.; Zhu, T. & Kempler, S.; (2008). Remotely-sensed chlorophyll *a* observations of the northern Red Sea indicate seasonal variability and influence of coastal reefs. *Journal of Marine Systems*, Volume 69, Issues 3–4, Pages 191–204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.12.006>
- Araújo, T. C. M; Santos, R. C. A. L.; Seoane, J. C. S. & Manso, V. A. V. (2006). Erosão e progradação no litoral brasileiro – Alagoas. p. 197-212. In. Muehe, D. (org.). (2006). Erosão e progradação no litoral brasileiro. Brasília: MMA, 476 p.
- Arnone, R. A. (1987). Satellite-Derived Color-Temperature Relationship in the Alboran Sea. *Remote Sensing of Environment*, volume 23, pages 417-437.
- Barnes, C.; Irigoien, X.; Oliveira, J. A. A.; Maxwell, D. & Jennings, S. (2011). Predicting marine phytoplankton community size structure from empirical relationships with remotely sensed variables. *Journal of Plankton Research*, volume 33, number 1, pages 13-24.

- Burrage, D. M.; Steinberg, C. R.; Skirving, W. J. & Kleypas, J. A. (1996). Mesoscale circulation features of the great barrier reef region inferred from NOAA satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, volume 56, issue 1, pages 21-41.
- Cadée, G. C. (1975). Primary production off the Guyana coast. *Netherlands Journal of Sea Research*, volume 9, issue 1, pages 128-143.
- Callejas-Jimenez, M.; Santamaria-del-Angel, E.; Gonzalez-Silvera, A.; Millan-Nuñez, R. & Cajal-Medrano, R. (2012). Dynamic Regionalization of the Gulf of Mexico based on normalized radiances (nLw) derived from MODIS-Aqua. *Continental Shelf Research*, volume 37, pages 8-14.
- Camargo, J. M. R. D.; Araújo, T. C. M. D.; Maida, M., & Ushizima, T. M. (2007). Morfologia da plataforma continental interna adjacente ao município de Tamandaré, sul de Pernambuco-Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, volume 25, páginas 79-89.
- Campbell, J. W. & O'Reilly, J. E. (1988). Role of satellites in estimating primary productivity on the northwest Atlantic continental shelf. *Continental Shelf Research*, volume 8, number 2, pages 179-204.
- Chassot, E.; Bonhommeau, S.; Reygondeau, G.; Nieto, K.; Polovina, J. J.; Huret, M.; Dulvy, N. K. & Demarcq, H. (2011). Satellite remote sensing for an ecosystem approach to fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*, volume 68, issue 4, pages 651-666.
- Cullen, J. J.; Franks, P. J. S.; Karl, D. M. & Longhurst, A. (2002). Physical Influences on Marine Ecosystem Dynamics. Chapter 8, Pages 297-336. *In* Robinson, A. R.; McCarthy, J. J. & Rothschild, B. J. *The Sea, Volume 12: Biological-Physical Interactions in the Sea*. 662 pp.
- Cury, P. M.; Shannon, L. J.; Roux, J-P.; Daskalov, G. M.; Jarre, A.; Moloney, C. L. & Pauly, D. (2005). Trophodynamic indicators for an ecosystem approach to fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, volume 62, pages 430-442.
- D'Sa, E. J. & Ko, D. S. (2008). Short-term Influences on Suspended Particulate Matter Distribution in the Northern Gulf of Mexico: Satellite and Model Observations. *Sensors*, volume 8, pages 4249-4264.
- D'Sa, E. J. & Miller, R. L. (2003). Bio-optical properties in waters influenced by the Mississippi River during low flow conditions. *Remote Sensing of Environment*, volume 84, pages 538-549
- Dall'Olmoa, G.; Gitelson, A. A.; Rundquista, D. C.; Leavitt, B.; Barrowb, T. & Holz, J. C. (2005). Assessing the potential of SeaWiFS and MODIS for estimating chlorophyll concentration in turbid productive waters using red and near-infrared bands. *Remote Sensing of Environment*, volume 96, pages 176-187.
- Darecki, M. & Stramski, D. (2004). An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea. *Remote Sensing of Environment*, volume 89, pages 326-350.

- Del Castillo, C. E. & Miller, R. L. (2008). On the use of ocean color remote sensing to measure the transport of dissolved organic carbon by the Mississippi River Plume. *Remote Sensing of Environment*, volume 112, pages 836-844.
- Eppley, R. W. (1972). Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fishery Bulletin*, volume 70, number 4, pages 1063-1085.
- Esaias, W. E.; Abbott, M. R.; Barton, I.; Brown, O. B.; Campbell, J. W.; Carder, K. L.; Clark, D. K.; Evans, R. H.; Hoge, F. E.; Gordon, H. R.; Balch, W. M.; Letelier, R. & Minnett, P.J. (1998). An overview of MODIS capabilities for ocean science observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, volume 36, issue 4, pages 1250-1265.
- Fragoso Jr., C. R.; Motta Marques, D.; Ferreira, T. F.; Janse, J. H. ; van Nes, E. H. (2011). Potential effects of climate change and eutrophication on a large subtropical shallow lake. *Environmental Modelling & Software*, volume 26, pages 1337-1348
- Gallaudet, T. C. & Simpson, J. J. (1994). An empirical orthogonal function analysis of remotely sensed sea surface temperature variability and its relation to interior oceanic processes off Baja California. *Remote Sensing of Environment*, volume 47, issue 3, pages 375–389. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90105-8](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)90105-8)
- Garcia, C. A. E.; Sarma, Y. V. B.; Mata, M. M.; Garcia, V. M. T. (2003). Chlorophyll variability and eddies in the Brazil-Malvinas Confluence region. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, volume 51, issues (1-3), pages 159-172. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2003.07.016>
- Gitelson, A. A.; Schalles, J. F. & Hladik, C. M. (2007). Remote chlorophyll-a retrieval in turbid, productive estuaries: Chesapeake Bay case study. *Remote Sensing of Environment*, volume 109, issue 4, pages 464–472.
- Gitelson, A. A.; Dall'Olmo, G.; Moses, W.; Rundquist, D. C.; Barrow, T.; Fisher, T. R.; Gurlin, D. & Holz, J. (2008). A simple semi-analytical model for remote estimation of chlorophyll-a in turbid waters: Validation. *Remote Sensing of Environment*, volume 112, pages 3582–3593.
- Gohin, F.; Loyer, S.; Lunven, M.; Labry, C.; Froidefond, J.-M.; Delmas, D.; Huret, M. & Herbland, A. (2005). Satellite-derived parameters for biological modelling in coastal waters: Illustration over the eastern continental shelf of the Bay of Biscay. *Remote Sensing of Environment*, Volume 95, Issue 1, Pages 29–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.007>
- Gong, G.-C.; Shiah, F.-K.; Liu, K.-K.; Wen, Y.-H. & Liang, M.-H. (2000). Spatial and temporal variation of chlorophyll a, primary productivity and chemical hydrography in the southern East China Sea. *Continental Shelf Research*, volume 20, pages 411-436.
- Gons, H. J.; Rijkeboer, M. and Ruddick, K. G. (2002). A chlorophyll-retrieval algorithm for satellite imagery (Medium Resolution Imaging Spectrometer) of inland and

- coastal waters. *Journal of Plankton Research*, volume 24, issue 9, pages 947-951. doi: 10.1093/plankt/24.9.947
- Gregg, W. W. & Casey, N. W. (2007). Sampling biases in MODIS and SeaWiFS ocean chlorophyll data. *Remote Sensing of Environment*, volume 111, pages 25-35.
- Gurlin, D.; Gitelson, A. A. & Moses, W. J. (2011). Remote estimation of chl-a concentration in turbid productive waters — Return to a simple two-band NIR-red model? *Remote Sensing of Environment*, volume 115, pages 3479-3490.
- Hall, P. & Davies, A. M. (2002). Analysis of time-varying wind-induced currents in the North Channel of the Irish Sea, using empirical orthogonal functions and harmonic decomposition. *Continental Shelf Research*, volume 22, pages 1269-1300.
- Hoffman, R. N. & Johnson, D. W. (1994). Application of EOF' s to Multispectral Imagery: Data Compression and Noise Detection for AVIRIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, volume 32, number 1, pages 25-34.
- Hu, C.; Chen, Z.; Clayton, T. D.; Swarzenski, P.; Brock, J. C. & Muller-Karger, F. E. (2004). Assessment of estuarine water-quality indicators using MODIS medium-resolution bands: Initial results from Tampa Bay, FL. *Remote Sensing of Environment*, volume 93, pages 423-441
- Kampel, M.; Lorenzetti, J. A.; Bentz, C. M.; Nunes, R. A.; Paranhos, R.; Rudorff, F. M. & Politano, A. T. (2009). Simultaneous Measurements of Chlorophyll Concentration by Lidar, Fluorometry, above-Water Radiometry, and Ocean Color MODIS Images in the Southwestern Atlantic. *Sensors*, volume 9, pages 528-541.
- Keiner, L. E. & Yan, X.-H. (1997). Empirical orthogonal function analysis of sea surface temperature patterns in Delaware Bay. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, volume 35, number 5, pages 1299–1306.
- Kim, D.; Choi, S. H.; Kim, K. H.; Shim, J.; Yoo, S. & Kim, C. H. (2009). Spatial and temporal variations in nutrient and chlorophyll-a concentrations in the northern East China Sea surrounding Cheju Island. *Continental Shelf Research*, volume 29, issues 11–12, pages 1426-1436.
- Le Fèvre, J. (1987). Aspects of the biology of frontal systems. *Advances in Marine Biology*, volume 23, pages 163–299.
- Lihan, T.; Saitoh, S.-I.; Iida, T.; Hirawake, T. & Iida, K. (2008). Satellite-measured temporal and spatial variability of the Tokachi River plume. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, volume 78, pages 237-249.
- Lima, I. D.; Garcia, C. A. E. & Möller, O. O. (1996). Ocean surface processes on the southern Brazilian shelf: characterization and seasonal variability. *Continental Shelf Research*, volume 16, pages 1307-1317.

- Lorenz, E. (1956). Empirical orthogonal functions & statistical weather prediction. Scientific Report No. 1, Statistical Forecasting Project, *Massachusetts Institute of Technology*, Department of Meteorology, Cambridge, Massachusetts, 49 pp.
- Lorenzzetti, J. A.; Stech, J. L.; Mello Filho, W. L. & Assireu, A. T. (2009). Satellite observation of Brazil Current inshore thermal front in the SW South Atlantic: Space/time variability and sea surface temperatures. *Continental Shelf Research*, volume 29, issue 17, pages 2061-2068.
- Lutz, V. A.; Segura, V.; Dogliotti, A. I.; Gagliardini, D. A.; Bianchi, A. A. & Balestrini, C. F. (2010). Primary production in the Argentine Sea during spring estimated by field and satellite models. *Journal of Plankton Research*, volume 32, number 2, pages 181-195.
- Mallin, M. A.; Paerl, H. W.; Rudek, J. & Bates, P. W. (1993). Regulation of estuarine primary production by watershed rainfall and river flow. *Marine Ecology Progress Series*, volume 93, pages 199-203.
- McClain, C.; Hooker, S. & Feldman, G. (2006). Satellite Data for Ocean Biology, Biogeochemistry and Climate Research. *Eos*, volume 87, number 34, pages 337-343.
- McCluney, W. R. (1976). Remote Measurement of Water Color. *Remote Sensing of Environment*, volume 5, pages 3-33.
- Medeiros, P. R. P.; Knoppers, B. A.; Cavalcante G. H. & Souza, W. F. L. (2011). Changes in Nutrient Loads (N, P and Si) in the São Francisco Estuary after the Construction of Dams. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, volume 54, number 2, pages 387-397.
- Morel, A. & Gentili, B. (2009). A simple band ratio technique to quantify the colored dissolved and detrital organic material from ocean color remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, Volume 113, Issue 5, Pages 998–1011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.008>
- Muscarella, P. A.; Barton N. P.; Lipphardt Jr., B. L.; Veron D. E.; Wong, K. C. & Kirwan Jr., A. D. (2011). Surface currents and winds at the Delaware Bay mouth. *Continental Shelf Research*, volume 31, issue 12, pages 1282-1293.
- Nezlin N. P. & McWilliams, J. C. (2003). Satellite data, Empirical Orthogonal Functions, & the 1997–1998 El Niño off California. *Remote Sensing of Environment*, volume 84, pages 234-254.
- Oliveira, A. M. & Björn, K. (1993). Environmental responses of a tropical coastal lagoon system to hydrological variability: Mundau-Manguaba, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, volume 37, issue 6: pages 575-591.
- O'Reilly, J. E.; Maritorena, S.; Siegel, D. A.; O'Brien, M. C.; Toole, D.; Mitchell, B. G.; Kahru, M.; Chavez, F. P.; Strutton, P.; Cota, G. F.; Hooker, S. B.; McClain, C. R.; Carder, K. L.; Müller-Karger, F.; Harding, L.; Magnuson, A.; Phinney, D.; Moore, G. F.; Aiken, J.; Arrigo, K. R.; Letelier, R. & Culver, M. (2000). *Ocean*

- color chlorophyll algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: Version 4.* In: Hooker, S. B.; Firestone, E. R. (Eds.). *SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3, NASA Technical Memorandum*, v. 11: Greenbelt, NASA Goddard Space Center, pages 9-27.
- Pan, Y.; Tang, D. & Weng, D. (2010). Evaluation of the SeaWiFS and MODIS Chlorophyll a Algorithms Used for the Northern South China Sea during the Summer Season. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, vol. 21, n. 6, p. 997-1005.
- Pauly, D. & Christensen, V. (1995). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, volume 374, pages 255-257. [With erratum from *Nature* 376: 279].
- Pérez, V.; Fernandez, E.; Marañón, E.; Serret, P. & García-Soto, C. (2005). Seasonal and interannual variability of chlorophyll a and primary production in the Equatorial Atlantic: in situ and remote sensing observations. *Journal of Plankton Research*, volume 27, number 2, pages 189-197.
- Quigg, A.; Sylvan, J. B.; Gustafson, A. B.; Fisher, T. R.; Oliver, R. L.; Tozzi, S. & Ammerman, J. W. (2011). Going West: Nutrient Limitation of Primary Production in the Northern Gulf of Mexico and the Importance of the Atchafalaya River. *Aquatic Geochemistry*, volume 17, pages 519-544.
- Quispe, D.; Calienes, R.; Tam, J.; Graco, M.; Ledesma, J.; Flores, G.; Correa, D.; & Quispe, C. (2010). Análisis comparativo entre Clorofila-a satelital e *in situ* en el ecosistema de afloramiento peruano, entre 1998 – 2007. *Ecología Aplicada*, volume 9, issue 2, pages 151-159.
- Radiarta, I. N. & Saitoh, S.-I. (2008). Satellite-derived measurements of spatial and temporal chlorophyll-a variability in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, volume 79, pages 400-408.
- Rasheed, M. A.; Dewa, K. R.; McKenzie, L. J.; Coles, R. G.; Kerville, S. P. & Campbell, S. J. (2008). Productivity, carbon assimilation and intra-annual change in tropical reef platform seagrass communities of the Torres Strait, north-eastern Australia, *Continental Shelf Research*, volume 28, pages 2292– 2303.
- Salomonson, V. V.; Barnes, W. L.; Maymon, P. W.; Montgomery, H. E. & Ostrow, H. (1989). MODIS: advanced facility instrument for studies of the Earth as a system. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, volume 27, issue 2, pages, 145-153.
- Schroeder, W. W.; Dinnel, S. P.; Wiseman Jr, W. J. & Merrell Jr., W. J. (1987). Circulation patterns inferred from the movement of detached buoys in the eastern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research*, volume 7, issue 8, pages 883-894.
- SeaBass/NASA. (2012). [http://seabass.gsfc.nasa.gov/seabasscgi/validation\\_search.cgi](http://seabass.gsfc.nasa.gov/seabasscgi/validation_search.cgi). Consulta realizada em setembro de 2012.



- Shutler, J. D.; Land, P. E.; Smyth, T. J. & Groom, S. B. (2007). Extending the MODIS 1 km ocean colour atmospheric correction to the MODIS 500 m bands and 500 m chlorophyll-a estimation towards coastal and estuarine monitoring. *Remote Sensing of Environment*, volume 107, pages 521-532.
- Silva, T. R.; S. Lopes, R. P.; Spörl, G.; Knoppers, B. A. & Azevedo, D. A. (2012). Source characterization using molecular distribution and stable carbon isotopic composition of n-alkanes in sediment cores from the tropical Mundaú–Manguaba estuarine–lagoon system, Brazil. *Organic Geochemistry*, volume 53, pages 25–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.orggeochem.2012.05.009>
- Skagseth, Ø. & Orvik, K. A. (2002). Identifying fluctuations in the Norwegian Atlantic Slope Current by means of empirical orthogonal functions. *Continental Shelf Research*, volume 22, pages 547-563.
- Smith Jr., W. O. & Demaster, D. J. (1996). Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: correlation with seasonal river discharge. *Continental Shelf Research*, volume 16, number 3, pages 291-319.
- Solanki, H. U.; Pradhan, Y.; Dwivedi, R. M.; Nayak, S.; Gulati, D. K. & Somvamshi, V. S. (2005). Application of QuikSCAT SeaWinds data to improve remotely sensed Potencail Fishing Zones (PFZs) forecast methodology: Preliminary validation results. *Indian Journal of Marine Sciences*, volume 34, issue 4, pages 441-448.
- Thomas, A. C. & Weatherbee, R. A. (2006). Satellite-measured temporal variability of the Columbia River plume. *Remote Sensing of Environment*, volume 100, pages 167-178.
- Turner, D. P.; Ritts, W. D.; Cohen, W. B.; Gower, S. T.; Running, S. W.; Zhao, M.; Costa, M. H.; Kirschbaum, A. A.; Ham, J. M.; Saleska, S. R. & Ahl, D. E. (2006). Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes. *Remote Sensing of Environment*, volume 102, pages 282-292.
- Volpe, G.; Nardelli, B. B.; Cipollini, P.; Santoleri, R. & Robinson, I. S. (2012). Seasonal to interannual phytoplankton response to physical processes in the Mediterranean Sea from satellite observations. *Remote Sensing of Environment*, volume 117, pages 223–235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.020>
- Walker, N. D. (1996). Satellite Assessment of Mississippi River Plume Variability: Causes and Predictability. *Remote Sensing Environmental*, volume 58, pages 21-35.
- Wolanski, E.; Pickard, G. L. & Jupp, D. L. B. (1984). River plumes, Coral Reefs and mixing in the Gulf of Papua and the northern Great Barrier Reef. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, volume 18, issue 3, pages 291-314.

## REFERÊNCIAS GERAIS

Acha, E. M.; Mianzan, H. W.; Guerrero, R. A.; Favero, M. & Bava, J. Marine fronts at the continental shelves of austral South America Physical and ecological processes. **Journal of Marine Systems**, vol. 44, pag. 83-105, 2004.

Acker, J.; Leptoukh, G.; Shen, S.; Zhu, T. & Kempler, S. Remotely-sensed chlorophyll a observations of the northern Red Sea indicate seasonal variability and influence of coastal reefs. **Journal of Marine Systems**, Volume 69, Issues 3–4, Pages 191–204, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.12.006>

Alpers, W.; Brandt, P.; Lazar, A.; Daborne, D.; Sow, B.; Faye, S.; Hansen, M. W.; Rubino, A.; Poulain, P.-M. & Brehmer, P. A small-scale oceanic eddy off the coast of West Africa studied by multi-sensor satellite and surface drifter data. **Remote Sensing of Environment**, vol. 129, pag. 132–143, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.032>

Anjos, D. L.; Passavante, J. Z. O.; Silva-Cunha, M. G. G. & Silva, M. H. Biomassa fitoplanctônica correlacionada aos fatores hidrológicos no estuário do rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, volume 40, issue 1, pages 167-184, 2012.

Aquino, E. P.; Figueirêdo, L. G. P.; Anjos, D. L.; Passavante, J. Z. O. & Silva-Cunha M. G. G. Biomassa fitoplanctônica e fatores ambientais em um estuário tropical do Brasil. **Tropical Oceanography**, vol. 40, issue 1, pag.17-28, 2012.

Araújo, T. C. M; Santos, R. C. A. L.; Seoane, J. C. S. & Manso, V. A. V. **Erosão e progradação no litoral brasileiro – Alagoas**. p. 197-212. In. Muehe, D. (org.). (2006). *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília: MMA, 476 p., 2006

Arnone, R. A. Satellite-Derived Color-Temperature Relationship in the Alboran Sea. **Remote Sensing of Environment**, vol. 23, pag. 417-437, 1987.

Barnes, C.; Irigoien, X.; Oliveira, J. A. A.; Maxwell, D. & Jennings, S. Predicting marine phytoplankton community size structure from empirical relationships with remotely sensed variables. **Journal of Plankton Research**, volume 33, number 1, pages 13-24, 2011.

Branco, E. S.; Feitosa, F. A. N. e Flores-Monte, M. J. Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos no estuário de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco – BRASIL). **Tropical Oceanography**, vol. 30, issue 2, pag. 79-96, 2002.

Burrage, D. M.; Steinberg, C. R.; Skirving, W. J. & Kleypas, J. A. Mesoscale circulation features of the great barrier reef region inferred from NOAA satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, volume 56, issue 1, pages 21-41, 1996.

Cadée, G. C. Primary production off the Guyana coast. **Netherlands Journal of Sea Research**, volume 9, issue 1, pages 128-143, 1975.

Callejas-Jimenez, M.; Santamaria-del-Angel, E.; Gonzalez-Silvera, A.; Millan-Nuñez, R. & Cajal-Medrano, R. Dynamic Regionalization of the Gulf of Mexico based on normalized radiances (nLw) derived from MODIS-Aqua. **Continental Shelf Research**, volume 37, pages 8-14, 2012.

Camargo, J. M. R. D.; Araújo, T. C. M. D.; Maida, M., & Ushizima, T. M. Morfologia da plataforma continental interna adjacente ao município de Tamandaré, sul de Pernambuco-Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, volume 25, páginas 79-89, 2007.

Campbell, J. W. & O'Reilly, J. E. Role of satellites in estimating primary productivity on the northwest Atlantic continental shelf. **Continental Shelf Research**, volume 8, number 2, pages 179-204, 1988.

Chassot, E.; Bonhommeau, S.; Reygondeau, G.; Nieto, K.; Polovina, J. J.; Huret, M.; Dulvy, N. K. & Demarcq, H. Satellite remote sensing for an ecosystem approach to fisheries management. **ICES Journal of Marine Science**, volume 68, issue 4, pages 651-666, 2011.

Ciotti, A. M.; Garcia, C. A. E. & Jorge, D. S. F. Temporal and meridional variability of Satellite-estimates of surface chlorophyll concentration over the Brazilian continental shelf. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, vol. 5, issue 2, pag. 64-81, 2010.

Copeland, B. J. Effects of decreased river flow on estuarine ecology. **Journal of the Water Pollution Control Federation**, vol. 31, issue 183, pag 1-1839, 1966.

Cullen, J. J.; Franks, P. J. S.; Karl, D. M. & Longhurst, A. Physical Influences on Marine Ecosystem Dynamics. Chapter 8, Pages 297-336. *In* Robinson, A. R.; McCarthy, J. J. & Rothschild, B. J. **The Sea**, Volume 12: Biological-Physical Interactions in the Sea. 662 pp, 2002.

Cury, P. M.; Shannon, L. J.; Roux, J-P.; Daskalov, G. M.; Jarre, A.; Moloney, C. L. & Pauly, D. Trophodynamic indicators for an ecosystem approach to fisheries. **ICES Journal of Marine Science**, volume 62, pages 430-442, 2005.

D'Sa, E. J. & Ko, D. S. Short-term Influences on Suspended Particulate Matter Distribution in the Northern Gulf of Mexico: Satellite and Model Observations. **Sensors**, volume 8, pages 4249-4264, 2008.

D'Sa, E. J. & Miller, R. L. Bio-optical properties in waters influenced by the Mississippi River during low flow conditions. **Remote Sensing of Environment**, volume 84, pages 538-549, 2003.

Dall'Olmo, G.; Gitelson, A. A.; Rundquista, D. C.; Leavitt, B.; Barrowb, T. & Holz, J. C. Assessing the potential of SeaWiFS and MODIS for estimating chlorophyll concentration in turbid productive waters using red and near-infrared bands. **Remote Sensing of Environment**, volume 96, pages 176-187, 2005.

Darecki, M. & Stramski, D. An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea. **Remote Sensing of Environment**, volume 89, pages 326-350, 2004.

Del Castillo, C. E. & Miller, R. L. On the use of ocean color remote sensing to measure the transport of dissolved organic carbon by the Mississippi River Plume. **Remote Sensing of Environment**, volume 112, pages 836-844, 2008.

Eppley, R. W. Temperature and phytoplankton growth in the sea. **Fishery Bulletin**, volume 70, number 4, pages 1063-1085, 1972.

Esaias, W. E.; Abbott, M. R.; Barton, I.; Brown, O. B.; Campbell, J. W.; Carder, K. L.; Clark, D. K.; Evans, R. H.; Hoge, F. E.; Gordon, H. R.; Balch, W. M.; Letelier, R. & Minnett, P.J. An overview of MODIS capabilities for ocean science observations. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, volume 36, issue 4, pages 1250-1265, 1998.

Fabricius, K. E.; De'ath, G.; Humphrey, Zagorskis, C. I. & Schaffelke, B. Intra-annual variation in turbidity in response to terrestrial runoff on near-shore coral reefs of the Great Barrier Reef. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, Available online 14 March 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2012.03.010>

Feldman, G. C. Variability of the productive habitat in the Eastern Equatorial Pacific. **EOS**, vol. 67, issue 9, pages 106-108, 1986.

Fischer, W. A.; Hemphill, W. R. and Kover, A. Progress in remote sensing (1972-1976). **Photogrammetria**, vol. 32, pages 33-72, 1976.

Flores-Verdugo, F.; González-Farías, F.; Ramírez-Flores, O.; Amezcua-Linares, F.; Yáñez-Arancibia, A.; Alvarez-Rubio, M. & Day Jr., J. W. Mangrove Ecology, Aquatic Primary Productivity, and Fish Community Dynamics in the Teacapin-Agua Brava Lagoon-Estuarine System (Mexican Pacific). **Estuaries**, vol. 13, issue 2, pages 219-230, 1990.

Fragoso Jr., C. R.; Motta Marques, D.; Ferreira, T. F.; Janse, J. H. & van Nes, E. H. Potential effects of climate change and eutrophication on a large subtropical shallow lake. **Environmental Modelling & Software**, volume 26, pages 1337-1348, 2011.

Froidefond, J.-M.; Gardel, L.; Guiral, D.; Parra, M. & Ternon, J.-F. Spectral remote sensing reflectances of coastal waters in French Guiana under the Amazon influence. **Remote Sensing of Environment**, volume 80, issue 2, pages 225–232, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00301-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00301-7)

Gallaudet, T. C. & Simpson, J. J. An empirical orthogonal function analysis of remotely sensed sea surface temperature variability and its relation to interior oceanic processes off Baja California. **Remote Sensing of Environment**, volume 47, issue 3, pages 375–389, 1994. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90105-8](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(94)90105-8)

Garcia, C. A. E.; Sarma, Y. V. B.; Mata, M. M. & Garcia, V. M. T. Chlorophyll variability and eddies in the Brazil-Malvinas Confluence region. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, volume 51, issues (1-3), pages 159-172, 2003. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2003.07.016>

Geider, R. J., Delucia, E. H., Falkowski, P. G., Finzi, A. C., Grime, J. P., Grace, J., Kana, T. M., La Roche, J., Long, S. P., Osborne, B. A., Platt, T., Prentice, I. C., Raven, J. A., Schlesinger, W. H., Smetacek, V., Stuart, V., Sathyendranath, S., Thomas, R. B., Vogelmann, T. C., Williams, P. & Woodward, F. I. Primary productivity of planet earth: biological determinants and physical constraints in terrestrial and aquatic habitats. **Global Change Biology**, volume 7, pages 849–882, 2001. doi: 10.1046/j.1365-2486.2001.00448.x

Gitelson, A. A.; Schalles, J. F. & Hladik, C. M. Remote chlorophyll-a retrieval in turbid, productive estuaries: Chesapeake Bay case study. **Remote Sensing of Environment**, volume 109, issue 4, pages 464–472, 2007.

Gitelson, A. A.; Dall'Olmo, G.; Moses, W.; Rundquist, D. C.; Barrow, T.; Fisher, T. R.; Gurlin, D. & Holz, J. A simple semi-analytical model for remote estimation of chlorophyll-a in turbid waters: Validation. **Remote Sensing of Environment**, volume 112, pages 3582–3593, 2008.

Gohin, F.; Loyer, S.; Lunven, M.; Labry, C.; Froidefond, J.-M.; Delmas, D.; Huret, M. & Herbland, A. Satellite-derived parameters for biological modelling in coastal waters: Illustration over the eastern continental shelf of the Bay of Biscay. **Remote Sensing of Environment**, Volume 95, Issue 1, Pages 29–46, 2005.

Gong, G.-C.; Shiah, F.-K.; Liu, K.-K.; Wen, Y.-H. & Liang, M.-H. Spatial and temporal variation of chlorophyll a, primary productivity and chemical hydrography in the southern East China Sea. **Continental Shelf Research**, volume 20, pages 411-436, 2000.

Gons, H. J.; Rijkeboer, M. and Ruddick, K. G. (2002). A chlorophyll-retrieval algorithm for satellite imagery (Medium Resolution Imaging Spectrometer) of inland and coastal waters. *Journal of Plankton Research*, volume 24, issue 9, pages 947-951. doi: 10.1093/plankt/24.9.947

Gregg, W. W. & Casey, N. W. (2007). Sampling biases in MODIS and SeaWiFS ocean chlorophyll data. *Remote Sensing of Environment*, volume 111, pages 25-35.

Gurlin, D.; Gitelson, A. A. & Moses, W. J. (2011). Remote estimation of chl-a concentration in turbid productive waters — Return to a simple two-band NIR-red model? *Remote Sensing of Environment*, volume 115, pages 3479-3490.

Hall, P. & Davies, A. M. (2002). Analysis of time-varying wind-induced currents in the North Channel of the Irish Sea, using empirical orthogonal functions and harmonic decomposition. *Continental Shelf Research*, volume 22, pages 1269-1300.

Hoffman, R. N. & Johnson, D. W. (1994). Application of EOF' s to Multispectral Imagery: Data Compression and Noise Detection for AVIRIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, volume 32, number 1, pages 25-34.

Hopkinson, C. S. 1985. Shallow-water benthic and pelagic metabolism: **Marine Biology** **87** (1): 19–32, DOI: 10.1007/BF00397002.

Hu, C.; Chen, Z.; Clayton, T. D.; Swarzenski, P.; Brock, J. C. & Muller-Karger, F. E. (2004). Assessment of estuarine water-quality indicators using MODIS medium-resolution bands: Initial results from Tampa Bay, FL. *Remote Sensing of Environment*, volume 93, pages 423-441

Kampel, M.; Lorenzetti, J. A.; Bentz, C. M.; Nunes, R. A.; Paranhos, R.; Rudorff, F. M. & Politano, A. T. (2009). Simultaneous Measurements of Chlorophyll Concentration by Lidar, Fluorometry, above-Water Radiometry, and Ocean Color MODIS Images in the Southwestern Atlantic. *Sensors*, volume 9, pages 528-541.

Keiner, L. E. & Yan, X.-H. (1997). Empirical orthogonal function analysis of sea surface temperature patterns in Delaware Bay. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, volume 35, number 5, pages 1299–1306.

Kim, D.; Choi, S. H.; Kim, K. H.; Shim, J.; Yoo, S. & Kim, C. H. (2009). Spatial and temporal variations in nutrient and chlorophyll-a concentrations in the northern East China Sea surrounding Cheju Island. *Continental Shelf Research*, volume 29, issues 11–12, pages 1426-1436.

Kostoglidis, A.; Pattiaratchi, C. B. and Hamilton, D. P. 2005. CDOM and its contribution to the underwater light climate of a shallow, microtidal estuary in south-western

Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** **63** (4): 469–477.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2004.11.016>

Le Fèvre, J. (1987). Aspects of the biology of frontal systems. *Advances in Marine Biology*, volume 23, pages 163–299.

Leão, B. M.; Passavante, J. Z. O.; Silva-Cunha, M. G. G. e Santiago, M. F. 2008. Ecologia do microfitoplâncton do estuário do rio Igarassu, PE, Brasil. **Acta Botânica Brasileira** **22** (3): 711-722.

Lihan, T.; Saitoh, S.-I.; Iida, T.; Hirawake, T. & Iida, K. (2008). Satellite-measured temporal and spatial variability of the Tokachi River plume. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, volume 78, pages 237-249.

Lima, I. D.; Garcia, C. A. E. & Möller, O. O. (1996). Ocean surface processes on the southern Brazilian shelf: characterization and seasonal variability. *Continental Shelf Research*, volume 16, pages 1307-1317.

Longhurst, A. R. e Pauly, D. 2007. **Ecologia dos Oceanos Tropicais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. (Coleção Base; 5), P. 427.

Lorenz, E. (1956). Empirical orthogonal functions & statistical weather prediction. Scientific Report No. 1, Statistical Forecasting Project, *Massachusetts Institute of Technology*, Department of Meteorology, Cambridge, Massachusetts, 49 pp.

Lorenzetti, J. A.; Stech, J. L.; Mello Filho, W. L. & Assireu, A. T. (2009). Satellite observation of Brazil Current inshore thermal front in the SW South Atlantic: Space/time variability and sea surface temperatures. *Continental Shelf Research*, volume 29, issue 17, pages 2061-2068.

Lutz, V. A.; Segura, V.; Dogliotti, A. I.; Gagliardini, D. A.; Bianchi, A. A. & Balestrini, C. F. (2010). Primary production in the Argentine Sea during spring estimated by field and satellite models. *Journal of Plankton Research*, volume 32, number 2, pages 181-195.

Mafalda Jr., P. O.; Sinque, C.; Brito, R. R. C. e Santos, J. J. 2004. Biomassa planctônica, hidrografia e pluviosidade na costa norte da Bahia, Brasil. **Tropical Oceanography** **32** (2): 143-158.

Mallin, M. A.; Paerl, H. W.; Rudek, J. & Bates, P. W. (1993) .Regulation of estuarine primary production by watershed rainfall and river flow. *Marine Ecology Progress Series*, volume 93, pages 199-203.

Malone, C.; Crocker, L. H.; Pike, S. E. and Wendler, B. W. 1988. Influences of river flow on the dynamics of phytoplankton production in a partially stratified estuary. **Marine Ecology - Progress Series 48**: 235-249.

McClain, C.; Hooker, S. & Feldman, G. (2006). Satellite Data for Ocean Biology, Biogeochemistry and Climate Research. *Eos*, volume 87, number 34, pages 337-343.

McCluney, W. R. (1976). Remote Measurement of Water Color. *Remote Sensing of Environment*, volume 5, pages 3-33.

Medeiros, P. R. P.; Knoppers, B. A.; Cavalcante G. H. & Souza, W. F. L. (2011). Changes in Nutrient Loads (N, P and Si) in the São Francisco Estuary after the Construction of Dams. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, volume 54, number 2, pages 387-397.

Menzel, D. W. and Ryther, J. H. 1953. The annual cycle of primary production in the Sargasso Sea off Bermuda. **Deep Sea Research 6** (1959–1960): 351–367. [http://dx.doi.org/10.1016/0146-6313\(59\)90095-4](http://dx.doi.org/10.1016/0146-6313(59)90095-4)

Morel, A. & Gentili, B. (2009). A simple band ratio technique to quantify the colored dissolved and detrital organic material from ocean color remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, Volume 113, Issue 5, Pages 998–1011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.008>

Muscarella, P. A.; Barton N. P.; Lipphardt Jr., B. L.; Veron D. E.; Wong, K. C. & Kirwan Jr., A. D. (2011). Surface currents and winds at the Delaware Bay mouth. *Continental Shelf Research*, volume 31, issue 12, pages 1282-1293.

Neves, D. R. C. B.; Pinho, J. L. S. e Vieira, J. M. P. 2008. Análise de Dados de Satélite Adequados à Caracterização da Produção Primária na Superfície Oceânica da Zee Portuguesa. **Engenharia Civil - UM 33**: 125-138.

Nezlin N. P. & McWilliams, J. C. (2003). Satellite data, Empirical Orthogonal Functions, & the 1997–1998 El Niño off California. *Remote Sensing of Environment*, volume 84, pages 234-254.

Nielsen, E. S. 1952. On Organic Production in the Oceans. **J. Cons. int. Explor. Mer 19** (3): 309-328. doi: 10.1093/icesjms/19.3.309

\_\_\_\_\_. 1952. The Use of Radio-active Carbon (C14) for Measuring Organic Production in the Sea. **J. Cons. int. Explor. Mer 18** (2): 117–140. doi: 10.1093/icesjms/18.2.117



O'Reilly, J. E.; Maritorena, S.; Siegel, D. A.; O'Brien, M. C.; Toole, D.; Mitchell, B. G.; Kahru, M.; Chavez, F. P.; Strutton, P.; Cota, G. F.; Hooker, S. B.; McClain, C. R.; Carder, K. L.; Müller-Karger, F.; Harding, L.; Magnuson, A.; Phinney, D.; Moore, G. F.; Aiken, J.; Arrigo, K. R.; Letelier, R. & Culver, M. **Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: Version 4**. In: Hooker, S. B.; Firestone, E. R. (Eds.). SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3, NASA Technical Memorandum, v. 11: Greenbelt, NASA Goddard Space Center, pages 9-27, 2000.

Oliveira, A. M. & Björn, K. Environmental responses of a tropical coastal lagoon system to hydrological variability: Mundau-Manguaba, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, volume 37, issue 6: pages 575-591, 1993.

Pan, Y.; Tang, D. & Weng, D. Evaluation of the SeaWiFS and MODIS Chlorophyll a Algorithms Used for the Northern South China Sea during the Summer Season. **Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences**, vol. 21, n. 6, p. 997-1005, 2010.

Pauly, D. & Christensen, V. Primary production required to sustain global fisheries. **Nature**, volume 374, pages 255-257, 1995. [With erratum from Nature 376: 279].

Pérez, V.; Fernandez, E.; Marañón, E.; Serret, P. & García-Soto, C. Seasonal and interannual variability of chlorophyll a and primary production in the Equatorial Atlantic: in situ and remote sensing observations. **Journal of Plankton Research**, volume 27, number 2, pages 189-197, 2005.

Quigg, A.; Sylvan, J. B.; Gustafson, A. B.; Fisher, T. R.; Oliver, R. L.; Tozzi, S. & Ammerman, J. W. Going West: Nutrient Limitation of Primary Production in the Northern Gulf of Mexico and the Importance of the Atchafalaya River. **Aquatic Geochemistry**, volume 17, pages 519-544, 2011.

Quispe, D.; Calienes, R.; Tam, J.; Graco, M.; Ledesma, J.; Flores, G.; Correa, D.; & Quispe, C. Análisis comparativo entre Clorofila-a satelital e *in situ* en el ecosistema de afloramiento peruano, entre 1998 – 2007. **Ecología Aplicada**, volume 9, issue 2, pages 151-159, 2010.

Radiarta, I. N. & Saitoh, S.-I. Satellite-derived measurements of spatial and temporal chlorophyll-a variability in Funka Bay, southwestern Hokkaido, Japan. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, volume 79, pages 400-408, 2008.

Randall, J. M. & Day Jr., J. W. Effects of river discharge and vertical circulation on aquatic primary production in a turbid Louisiana (USA) estuary. **Netherlands Journal of Sea Research**, volume 21, issue 3, pages 231–242, 1987. [http://dx.doi.org/10.1016/0077-7579\(87\)90015-9](http://dx.doi.org/10.1016/0077-7579(87)90015-9)

Rasheed, M. A.; Dewa, K. R.; McKenzie, L. J.; Coles, R. G.; Kerville, S. P. & Campbell, S. J. Productivity, carbon assimilation and intra-annual change in tropical reef platform seagrass communities of the Torres Strait, north-eastern Australia, **Continental Shelf Research**, volume 28, pages 2292– 2303, 2008.

Saba, V. S.; Friedrichs, M. A. M.; Antoine, D.; Armstrong, R. A.; Asanuma, I.; Behrenfeld, M. J.; Ciotti, A. M.; Dowell, M.; Hoepffner, N.; Hyde, K. J. W.; Ishizaka, J.; Kameda, T.; Marra, J.; Mélin, F.; Morel, A.; O'Reilly, J.; Scardi, M.; Smith Jr., W. O.; Smyth, T. J.; Tang, S.; Uitz, J.; Waters, K. and Westberry, T. K. 2011. An evaluation of ocean color model estimates of marine primary productivity in coastal and pelagic regions across the globe. **Biogeosciences** 8: 489-503. doi:10.5194/bg-8-489-2011.

Salomonson, V. V.; Barnes, W. L.; Maymon, P. W.; Montgomery, H. E. & Ostrow, H. MODIS: advanced facility instrument for studies of the Earth as a system. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, volume 27, issue 2, pages, 145-153, 1989.

Santos, T. G.; Bezerra-Junior, J. L.; Costa, K. M. P. e Feitosa, F. A. N. Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, volume 4, número 1, página 95-109, 2009.

Schettini, C. A. F.; Resgalla Jr., C.; Pereira Filho, J.; Silva, M. A. C.; Truccolo, E. C. & Rörig, L. R. Variabilidade temporal das características oceanográficas e ecológicas da região de influência fluvial do rio Itajaí-Açu. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, volume 9, issue 2, pages 93-102, 2005.

Schroeder, W. W.; Dinnel, S. P.; Wiseman Jr, W. J. & Merrell Jr., W. J. Circulation patterns inferred from the movement of detached buoys in the eastern Gulf of Mexico. **Continental Shelf Research**, volume 7, issue 8, pages 883-894, 1987.

SeaBass/NASA. (2012). [http://seabass.gsfc.nasa.gov/seabasscgi/validation\\_search.cgi](http://seabass.gsfc.nasa.gov/seabasscgi/validation_search.cgi). Consulta realizada em setembro de 2012.

Shutler, J. D.; Land, P. E.; Smyth, T. J. & Groom, S. B. Extending the MODIS 1 km ocean colour atmospheric correction to the MODIS 500 m bands and 500 m chlorophyll-a estimation towards coastal and estuarine monitoring. **Remote Sensing of Environment**, volume 107, pages 521-532, 2007.

Silva, M. H.; Passavante, J. Z. O.; Silva-Cunha, M. G. G.; Vieira, D. A. N.; Grego, C. K. S. & Muniz, K. Distribuição espacial e sazonal da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros hidrológicos no estuário do rio Formoso (rio Formoso, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, volume 32, issue 1, pages 89-106, 2004.

Silva, T. R.; S. Lopes, R. P.; Spörl, G.; Knoppers, B. A. & Azevedo, D. A. Source characterization using molecular distribution and stable carbon isotopic composition of n-alkanes in sediment cores from the tropical Mundaú–Manguaba estuarine–lagoon system, Brazil. **Organic Geochemistry**, volume 53, pages 25–33, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.orggeochem.2012.05.009>

Skagseth, Ø. & Orvik, K. A. Identifying fluctuations in the Norwegian Atlantic Slope Current by means of empirical orthogonal functions. **Continental Shelf Research**, volume 22, pages 547-563, 2002.

Smith Jr., W. O. & Demaster, D. J. Phytoplankton biomass and productivity in the Amazon River plume: correlation with seasonal river discharge. **Continental Shelf Research**, volume 16, number 3, pages 291-319, 1996.

Solanki, H. U.; Pradhan, Y.; Dwivedi, R. M.; Nayak, S.; Gulati, D. K. & Somvamshi, V. S. Application of QuikSCAT SeaWinds data to improve remotely sensed Potencail Fishing Zones (PFZs) forecast methodology: Preliminary validation results. **Indian Journal of Marine Sciences**, volume 34, issue 4, pages 441-448, 2005.

Song, X.; Lai, Z.; Ji, R.; Chen, C.; Zhang, J.; Huang, L.; Yin, J.; Wang, Y.; Lian, S. & Zhu, X. Summertime primary production in northwest South China Sea: Interaction of coastal eddy, upwelling and biological processes. **Continental Shelf Research**, volume 48, pages 110–121, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2012.07.016>

Souza, R. B. Sensoriamento Remoto dos Oceanos. **Espaço e Geografia**, volume 6, capítulo 1, páginas 127-149, 2003.

Stegmann, P. M.; Lewis, M. R.; Davis, C. O. & Cullen, J. J. Primary Production Estimates from Recordings of Solar-Stimulated Fluorescence in the Equatorial Pacific at 150°W. **Journal of Geophysical Research**, volume 97, issue 1, pages 627–638, 1992. doi:10.1029/91JC02014.

Thomas, A. C. & Weatherbee, R. A. Satellite-measured temporal variability of the Columbia River plume. **Remote Sensing of Environment**, volume 100, pages 167-178, 2006.

Thomas, A.; Byrne, D. & Weatherbee, R. Coastal sea surface temperature variability from Landsat infrared data. **Remote Sensing of Environment**, volume 81, issue (2–3), pages 262–272, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00004-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00004-4)

Turner, D. P.; Ritts, W. D.; Cohen, W. B.; Gower, S. T.; Running, S. W.; Zhao, M.; Costa, M. H.; Kirschbaum, A. A.; Ham, J. M.; Saleska, S. R. & Ahl, D. E. Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes. **Remote Sensing of Environment**, volume 102, pages 282-292, 2006.

Valentin, J. L. & Coutinho, R. Modelling maximum chlorophyll in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: a preliminary approach. **Ecological Modelling**, volume 52, pages 103–113, 1990. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-3800\(90\)90011-5](http://dx.doi.org/10.1016/0304-3800(90)90011-5).

Volpe, G.; Nardelli, B. B.; Cipollini, P.; Santoleri, R. & Robinson, I. S. Seasonal to interannual phytoplankton response to physical processes in the Mediterranean Sea from satellite observations. **Remote Sensing of Environment**, volume 117, pages 223–235, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.09.020>

Walker, N. D. Satellite Assessment of Mississippi River Plume Variability: Causes and Predictability. **Remote Sensing Environmental**, volume 58, pages 21-35, 1996.

Werdell, P. J.; Bailey, S. W.; Franz, B. A.; Harding Jr., L. W.; Feldman, G. C. & McClain, C. R. Regional and seasonal variability of chlorophyll-a in Chesapeake Bay as observed by SeaWiFS and MODIS-Aqua. **Remote Sensing of Environment**, volume 113, issue 6, pages 1319–1330, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.02.012>

Wolanski, E. & Thomson, R.E. Wind-driven circulation on the northern Great Barrier Reef continental shelf in summer. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, volume 18, 3, pages 271–289, 1984. [http://dx.doi.org/10.1016/0272-7714\(84\)90072-6](http://dx.doi.org/10.1016/0272-7714(84)90072-6)

Wolanski, E.; Pickard, G. L. & Jupp, D. L. B. River plumes, Coral Reefs and mixing in the Gulf of Papua and the northern Great Barrier Reef. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, volume 18, issue 3, pages 291-314, 1984.