

## Caracterização e análise ambiental da Bacia de Santos com base no processamento de campos oceânicos superficiais estimados por satélites

Milton Kampel<sup>1</sup>  
Lucas Barbedo de Freitas<sup>1</sup>  
Flavia Tavares Delcourt<sup>1</sup>  
Fabio Dall Cortivo<sup>1</sup>  
Larissa Valerio<sup>1</sup>  
Maria Laura Zoffoli<sup>1</sup>  
Natalia de Moraes Rudorff<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{milton, lucasbf, delcourt, fabio.cortivo, larissa, lzoffoli, nmr}@dsr.inpe.br

**Abstract.** Time series of ocean data products were analyzed to describe the average pattern and time variability in the Santos Basin, located in Southeast Brazil, Southwestern-South Atlantic. Considering the deposits in the Pre-Salt, Santos Basin is becoming more important due to discoveries of huge volumes of light oil and natural gas. Sea surface temperature, chlorophyll-a concentration and euphotic depth fields were estimated using MODIS data for the period 07/2002-07/2012, and integrated with mixed layer depth data and surface wind intensity contributing to the understanding of meteoceanographic processes that influence the distribution of biophysicochemical properties of coastal and oceanic waters in the study region. The use of a Gaussian function to fit the temporal variability of satellite-derived surface chlorophyll-a concentration allowed the characterization of the timing and magnitude of the annual phytoplankton bloom in the slope and continental shelf areas. In both areas, chlorophyll data showed that the maximum surface bloom occurs in austral winter (July), having initiated in the autumn (May). It is expected that the results are useful for the environmental management and monitoring required to ensure adequate and sustainable use of natural resources in this region.

**Palavras-chave:** ocean remote sensing, phytoplankton bloom, Southwestern-South Atlantic Ocean, sensoriamento remoto dos oceanos, floração fitoplanctônica, Oceano Atlântico Sudoeste.

### 1. Introdução

Os satélites de observação da Terra tem a capacidade de obter uma cobertura sinóptica de grandes áreas da superfície oceânica, com alta resolução espacial e temporal quando comparados a outras técnicas de aquisição de dados oceanográficos. Estas características são ainda mais relevantes para a análise de séries temporais de variáveis climáticas e seus efeitos sobre a estrutura e a dinâmica espaço-temporal do ecossistema marinho.

Novos sensores orbitais e novas abordagens metodológicas têm sido continuamente disponibilizados para a comunidade interessada não só na descrição científica dos oceanos, mas também, para fins de segurança de toda atividade marítima, gestão da saúde dos ecossistemas marinhos e monitoramento do clima.

Este trabalho apresenta séries temporais de dados de satélites para a área da Bacia de Santos na costa sudeste brasileira, de modo a descrever e analisar os padrões médios e variabilidades espaciais e temporais para a caracterização ambiental da região. Foram geradas séries temporais de campos de temperatura (TSM) e concentração de clorofila na superfície do mar (CSM), profundidade da zona eufótica (ZEU) e intensidade do vento em superfície. Outros dados de modelos julgados aqui relevantes, como a profundidade da camada de mistura (PCM), são apresentados e integrados às discussões.

### 2. Metodologia de Trabalho

#### 2.1 Dados MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*)

Imagens médias mensais de TSM, CSM e ZEU foram geradas para a área da Bacia de Santos, a partir de dados do sensor orbital MODIS-AQUA. Foram utilizados dados em

formato HDF, com resolução espacial de 4 km, obtidos do *Ocean Biology Processing Group*, do *Goddard Space Flight Center*, NASA, compreendendo o período entre julho de 2002 e julho de 2012.

O algoritmo de TSM faz uso das bandas MODIS centradas em 11 e 12  $\mu\text{m}$ . As temperaturas de brilho são derivadas das radiâncias medidas invertendo-se a Lei de Planck que relaciona a radiância com a temperatura do corpo negro. Uma abordagem não linear foi ajustada para dois regimes diferentes com base na diferença das temperaturas de brilho, como mostrado a seguir:

$$\text{Se } \Delta T_b \leq 0,5, TSM = a_{00} + a_{01} * T_b11 + a_{02} * \Delta T_b * bTSM + a_{03} * \Delta T_b * (1,0 / \cos(\theta) - 1,0) \quad (1)$$

$$\text{Se } \Delta T_b \geq 0,9, TSM = a_{10} + a_{11} * T_b11 + a_{12} * \Delta T_b * bTSM + a_{13} * \Delta T_b * (1,0 / \cos(\theta) - 1,0) \quad (2)$$

$$\text{Se } 0,5 < \Delta T_b < 0,9, TSM_{\text{inf}} = a_{00} + a_{01} * T_b11 + a_{02} * \Delta T_b * bTSM + a_{03} * \Delta T_b * (1,0 / \cos(\theta) - 1,0) \quad (3)$$

$$TSM_{\text{sup}} = a_{10} + a_{11} * T_b11 + a_{12} * \Delta T_b * bTSM + a_{13} * \Delta T_b * (1,0 / \cos(\theta) - 1,0) \quad (4)$$

$$TSM = TSM_{\text{inf}} + (\Delta T_b - 0,5) / (0,9 - 0,5) * (TSM_{\text{sup}} - TSM_{\text{inf}}) \quad (5)$$

onde  $\Delta T_b = T_b11 - T_b12$ ;  $T_b11$  = temperatura de brilho em 11  $\mu\text{m}$  ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_b12$  = temperatura de brilho em 12  $\mu\text{m}$  ( $^{\circ}\text{C}$ );  $bTSM$  = TSM de referência obtida por interpolação ótima da climatologia semanal de Reynolds (Reynolds et al., 2007); e  $\theta$  é o ângulo zenital do sensor.

Os coeficientes  $a_{00}, a_{01}, a_{02}, a_{03}$  e  $a_{10}, a_{11}, a_{12}, a_{13}$  são derivados e continuamente atualizados pela Universidade de Miami a partir de comparações com medidas *in situ* de TSM.

A CSM foi estimada com o emprego da versão mais recente do algoritmo padrão da NASA, OC3Mv6, reprocessamento R2013.1 (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/WIKI/OCReproc20100MA.html>). O algoritmo operacional para estimativa da CSM (O'Reilly et al. 2000) foi atualizado com base em dados *in situ* NOMAD v2. A forma do algoritmo descreve o melhor ajuste polinomial que relaciona a concentração de clorofila (log-transformada) com razões de reflectâncias de sensoriamento remoto (também log-transformadas). A forma do polinômio atual é consistente com as versões anteriores, como segue:

$$CSM = 10^{(a_0 + a_1 * X + a_2 * X^2 + a_3 * X^3 + a_4 * X^4)} \quad (6)$$

onde  $X = \log_{10}(R_{sr1}/R_{sr2})$  é a razão máxima entre as reflectâncias de sensoriamento remoto nas bandas do azul ( $R_{sr1}=443$  ou  $489$  nm) e verde ( $R_{sr2}=547$  nm). Os coeficientes da versão 6 do algoritmo OC3Mv6 são:  $a_0=0,2424$ ;  $a_1=-2,7423$ ;  $a_2=1,8017$ ;  $a_3=0,0015$ ;  $a_4=-1,2280$ .

A ZEU, considerada aqui como a profundidade onde a irradiância fotossinteticamente ativa decresce a 1% de seu valor em superfície, foi estimada utilizando o modelo proposto por Morel et al. (2007):

$$ZEU = 10^{1,524 - 0,436X - 0,0145X^2 + 0,0186X^3}, X = \log_{10}(CSM) \quad (7)$$

A partir da base de dados MODIS, foram gerados mapas de TSM, CSM e ZEU médios para cada mês do ano, calculando-se a média dos valores em cada ponto de grade no período considerado (07/2002 a 07/2012). Foram extraídas as séries temporais de valores médios mensais de TSM, CSM e ZEU MODIS e respectivos desvios-padrões para os domínios de "plataforma" e "talude" na Baía de Santos (Figura 1), no período considerado como "climatológico" neste trabalho.

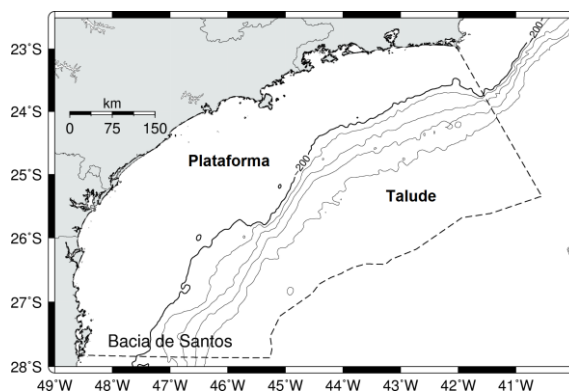


Figura 1 - Identificação das áreas de “plataforma” (da costa até a isóbata de 200 m) e “talude” utilizadas para a extração das séries temporais de valores médios mensais das variáveis analisadas – clorofila, campo de vento e temperatura da superfície do mar, profundidade da zona eufótica e profundidade da camada de mistura.

## 2.2 Profundidade da camada de mistura (PCM)

Médias mensais da profundidade da camada de mistura (CM) definida como a profundidade na qual há uma diminuição de 0,5°C em relação à temperatura de superfície para o período 2005-2012, foram calculadas de acordo com Clancy e Sadler (1992) com base nos dados da base TOPS/FNMOC da marinha americana com cobertura quase global ( $\pm 69,49^\circ$  de latitude) e resolução média de 10 km (<http://orca.science.oregonstate.edu/1080.by.2160.monthly.hdf.mld.fnmoc.php>).

## 2.3 Vento na superfície do mar (VSM)

Dados da magnitude média do vento na superfície do mar a 10 m de altitude, no período 1999-2009 foram obtidos para a região da Baía de Santos a partir do produto *Scatterometer Climatology of Ocean Winds* (SCOW) que utiliza dados orbitais do escaterômetro QuikSCAT. Mais informações sobre os métodos usados na geração desses campos de vento são encontradas em Risien e Chelton (2008).

## 2.4 Modelagem do *bloom* fitoplanctônico anual

De modo a se modelar a floração (*bloom*) fitoplanctônica anual, isto é, o acúmulo de biomassa fitoplanctônica indexado pela concentração de clorofila na área de estudo, ajustou-se os valores médios mensais de CSM com uma função temporal Gaussiana como a seguir:

$$CSM(t) = CSM_0 + \frac{h}{\sqrt{2\pi}\sigma} * \exp\left[-\frac{(t - m_{\max})^2}{2\sigma^2}\right] \quad (8)$$

onde  $CSM_0$  é linha-de-base da concentração de clorofila ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ),  $m_{\max}$  é o mês do pico,  $\sigma$  (meses) é o desvio-padrão da curva de Gauss e define a largura do pico,  $h/\sqrt{2\pi}\sigma$  define a concentração do pico;  $h$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$  meses) é a integral da CSM total acima da linha-de-base. Este modelo foi ajustado às séries anuais de CSM entre janeiro e dezembro, utilizando o método de mínimos quadrados. Adotou-se o limiar de 10% acima do valor mediano de CSM anual para definir o mês de início do *bloom* ( $m_{\text{ini}}$ ). □

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Médias mensais de temperatura da superfície do mar (TSM)

As séries temporais de valores médios de todo o período de estudo mostraram a elevação da TSM a partir de setembro, com máximos  $>30^\circ\text{C}$  no verão sobre a plataforma (fevereiro), e no outono sobre o talude (março) (Figura 2). A variabilidade foi maior na plataforma, como mostram os desvios-padrões. No inverno e início de primavera, ocorreu um resfriamento em ambas as regiões com valores mínimos de  $24,68^\circ\text{C}$  em agosto na plataforma e  $26,14^\circ\text{C}$  em setembro no talude.

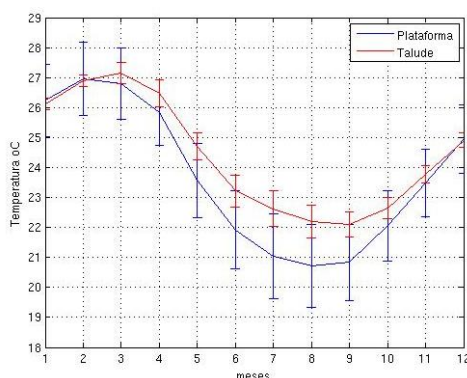


Figura 2 – Séries temporais da temperatura da superfície do mar média mensal MODIS do período entre 07/2002 e 07/2012 das regiões de plataforma e talude na região da Baía de Santos.

Castro et al. (2006) observaram valores similares na plataforma continental e região oceânica adjacente entre 17°S-35°S analisando dados estimados pelo sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) no período 1987-1998. A distribuição dos campos de TSM apresentou um padrão basicamente zonal em função da latitude. Entretanto, outros processos dinâmicos, como eventos de ressurgência e intrusões de águas frias, juntamente com a presença da Corrente do Brasil (CB), constituem fontes de assimetria no campo zonal de TSM. De acordo com Kampel (2003), a diferença média total entre medidas *in situ* realizadas durante o projeto DEPROAS e estimativas por satélite da TSM foi menor que 0,50°C, nas regiões de plataforma e talude do Rio de Janeiro e litoral norte de São Paulo.

### 3.2 Médias mensais de concentração de clorofila na superfície do mar (CSM)

O padrão sazonal de CSM mostrou os menores valores médios anuais no verão, sendo  $0,46 \pm 0,01$  mg/m<sup>3</sup> em janeiro na plataforma e  $0,08 \pm 0,01$  mg/m<sup>3</sup> em dezembro no talude (Figura 3). Em março e abril, a concentração média de clorofila na plataforma igual a  $0,54 \pm 0,13$  mg/m<sup>3</sup> foi similar à média de todo o verão ( $0,49 \pm 0,11$  mg/m<sup>3</sup>). No talude, observou-se uma pequena elevação das concentrações de clorofila. O período de outono constitui uma transição entre a estação chuvosa na região sudeste, com maior aporte continental dos rios, e o inverno seco. O outono é caracterizado por mudanças rápidas nas condições de tempo e diminuição nas taxas de precipitação. No inverno, entre junho e agosto observou-se um aumento da CSM em toda a área e os maiores valores médios anuais de  $0,84 \pm 0,37$  mg/m<sup>3</sup> e  $0,17 \pm 0,03$  mg/m<sup>3</sup> na plataforma e talude, respectivamente. A primavera representa outro período de transição entre a estação seca (inverno) e a estação chuvosa (verão). A partir de outubro, as concentrações médias de clorofila diminuem gradativamente até novembro. Segundo outros estudos, a biomassa na superfície em termos de clorofila-*a* é comparativamente maior no inverno do que no verão (Brandini, 1990; Aidar et al., 1993; Kampel, 2003). O crescimento de diatomáceas é estimulado em relação aos demais grupos fitoplanctônicos (Brandini, 1990). Trabalhos anteriores também sugeriram uma influência da pluma do rio de La Plata sobre a plataforma continental, com o aporte de nutrientes e o incremento na biomassa fitoplanctônica durante o inverno (Piola et al., 2008; Gonzalez-Silvera et al., 2006). Entretanto, esta influência pode apresentar variabilidade interanual, dependendo do efeito combinado (e antagônico) do cisalhamento do vento ao longo da costa e a magnitude da descarga do rio (Gonzalez-Silvera et al., 2006).

Trabalhos anteriores realizaram comparações de estimativas de CSM por satélite com medidas *in situ* na área de interesse. Garcia et al. (2005) mostraram que aplicando um algoritmo regional a dados do sensor *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS) da NASA na região do Atlântico Sudoeste foi obtido um erro de 32% na estimativa da clorofila. A partir de dados medidos na estação-fixa ANTARES-Ubatuba, litoral norte de São Paulo, Kampel et al. (2007) observaram que as concentrações de clorofila foram razoavelmente bem

estimadas pelo algoritmo MODIS OC3M, ainda que as estimativas por satélite tenham superestimado os valores *in situ* com diferença média de  $0,1 \text{ mg/m}^3$ .

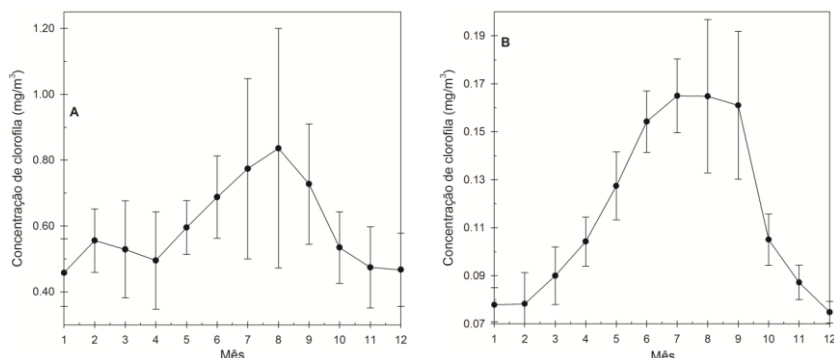


Figura 3 - Séries temporais das concentrações de clorofila média mensal MODIS do período entre 07/2002 e 12/2011 das regiões de plataforma (A) e talude (B) na área da Bacia de Santos. Notar diferença nas escalas verticais.

### 3.3 Dinâmica da profundidade da zona eufótica (ZEU) e da camada de mistura (PCM)

A ZEU mostrou um padrão sazonal similar tanto no talude como na plataforma. Entre dezembro e fevereiro (verão), a ZEU manteve-se relativamente mais profunda (64,43 m na plataforma e 101,77 m no talude) (Figura 4). De março a maio (outono), a ZEU diminuiu gradativamente. No inverno (junho a agosto) a profundidade média da ZEU foi ainda mais rasa (48,97 m na plataforma e 77,19 m no talude). No talude, a ZEU foi mínima em julho (76,11 m) e na plataforma, em setembro (48,35 m). De setembro a novembro (primavera) a ZEU voltou a se aprofundar, em ambos os domínios.

A PCM teve em média 16,78 m na plataforma, variando  $\pm 1,25$  m ao longo do período, sendo mais profunda em junho com 25,46 m e mais rasa em outubro com 14,06 m. Sazonalmente, a PCM tendeu a ser mínima no verão, com 15,70 m ficando relativamente mais profunda no outono e inverno com 17,80 m e 17,65 m, respectivamente. Na primavera a PCM ficou relativamente mais rasa com 15,96 m. No talude, o valor médio da PCM é de 18,06 m ( $\pm 1,36$  m), com valores menores na primavera (17,57 m), relativamente maiores que no verão (17,61 m) e mais profunda que no outono (18,90 m). No inverno, a PCM apresentou-se com 18,15 m. A maior profundidade da camada de mistura foi observada em dezembro com 27,14 m e a menor com 14,43 m, em agosto.

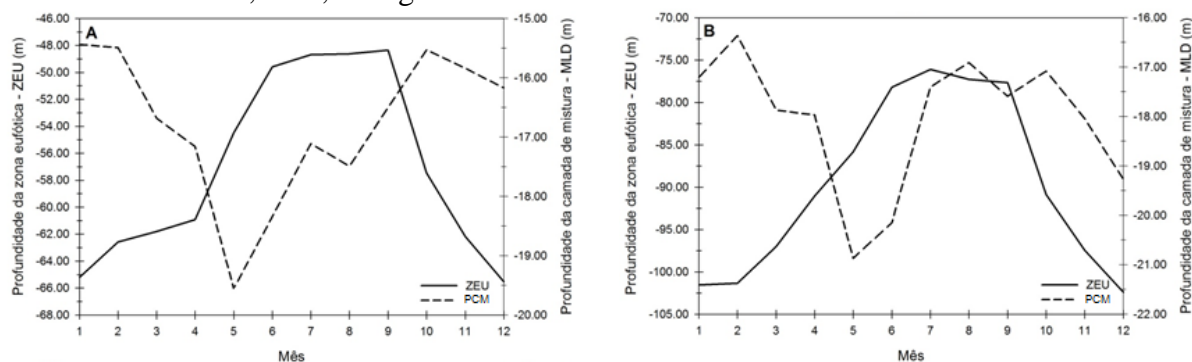


Figura 4 - Séries temporais da ZEU média mensal MODIS do período entre 07/2002 e 07/2012 e da PCM média mensal FNMOC do período entre 2005 e 2012, das regiões de plataforma (A) e talude (B) na área da Bacia de Santos (ver texto para siglas).

Analisando conjuntamente a Figura 4 com a variação anual média da CSM (Figura 3), percebe-se uma associação entre o período de máxima clorofila com o aprofundamento da camada de mistura, ao mesmo tempo em que se observa uma diminuição da profundidade da zona eufótica.

Aidar et al. (1993) observaram uma camada de mistura menos profunda do que a zona eufótica no litoral norte de São Paulo durante o verão e situações opostas em que a PCM foi um pouco maior ou próxima da ZEU durante o inverno. Segundo Kampel (2003), a ZEU medida *in situ* foi de 40,0 m no verão e 39,0 m no inverno, na plataforma do RJ e litoral norte de SP. No talude, os valores médios foram 64,0 m no verão e 64,0 m no inverno. Segundo o mesmo autor, a PCM medida *in situ* no verão foi de 16,0 m na plataforma e 37,0 m no talude. No inverno, a PCM foi de 40,0 m e 60,0 m, respectivamente.

Variações na concentração de clorofila e na produção primária são atribuídas a variações em fatores físicos como o vento. Por sua vez, o vento também apresenta relação com a variabilidade dos campos de TSM. A velocidade média do vento estimado pelo produto SCOW variou entre 5,40 m/s e 6,3 m/s na plataforma e entre 6,3 m/s e 7,6 m/s no talude. A partir de junho-julho o vento começou a aumentar de intensidade atingindo valores médios máximos em setembro-outubro (Figura 5). Com a incidência de ventos mais intensos a profundidade da camada de mistura aumenta. É possível que este processo incorpore células dos máximos de clorofila subsuperficial ao longo da termoclina na camada de mistura provocando uma assinatura de concentração de clorofila maior na superfície do mar que é detectada pelo sensor orbital.

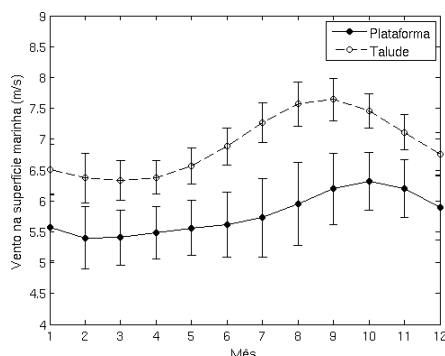


Figura 5 - Série temporal da magnitude média mensal do vento na superfície do mar a 10 m de altitude estimado por satélite nas regiões de plataforma e talude da Baía de Santos, entre 1999-2009.

### 3.4 Modelagem do *bloom* fitoplanctônico anual

O uso de uma função Gaussiana para representar a variabilidade temporal da CSM permitiu sintetizar a dinâmica do processo de floração fitoplanctônica na Baía de Santos. Esta abordagem facilita também, a análise da resposta aos forçantes físicos em diferentes escalas. A Tabela 1 apresenta os parâmetros médios do ajuste Gaussiano para as curvas de CSM médias mensais das regiões de plataforma (Figura 6A) e talude (Figura 6B), incluindo as amplitudes do pico do *bloom* ( $h/\sqrt{2\pi\sigma}$ ), o *timing* ( $m_{\text{max}}$ ) e a largura do pico ( $\sigma$ ).

A  $CSM_0$  apresentou valores geralmente mais baixos no talude do que na plataforma, de forma similar ao que foi obtido para a amplitude do pico (Tabela 1). A largura do pico no *bloom* foi relativamente maior na plataforma do que no talude, enquanto que o *timing* foi praticamente coincidente em ambos os domínios, ocorrendo no período de inverno. O início do *bloom* foi um pouco antecipado no talude em relação à plataforma, isto é, no final do outono.

Kampel (2013) caracterizou o *bloom* anual de clorofila na Baía de Campos, RJ com máximo em julho e início em maio, nos domínios de plataforma e talude. De acordo com Dandonneau et al. (2004), a concentração de clorofila na superfície do mar geralmente responde ao ciclo sazonal da energia solar que influencia fortemente o *timing*, a intensidade do fluxo vertical de nutrientes e a estabilidade vertical. Assim, a 50°S, o pico de biomassa ocorre entre novembro e dezembro, isto é, quando as condições de luminosidade e estabilidade vertical são adequadas para disparar o crescimento do fitoplâncton. Porém, em latitudes mais baixas, o máximo de clorofila ocorre antecipadamente, como em julho, por

exemplo, em torno de 20°S no Pacífico Sul. Esta variação latitudinal no *timing* pode ser associada a uma transição entre um sistema de alta latitude onde o *bloom* é disparado em condições de aumento de temperatura, luz e estabilidade vertical (Sverdrup, 1953; Siegel et al., 2002) e um sistema de latitudes mais baixas onde o *bloom* é iniciado em condição de menor estabilidade vertical permitindo que nutrientes de camadas mais profundas possam fertilizar as águas permanentemente quentes e pobres da camada de mistura (Dandonneau e Gohin, 1984). Outras observações apontam diferentes mecanismos com papel importante na estratificação da coluna de água, com influência sobre o *bloom*. Por exemplo, o *runoff* fluvial e a precipitação podem também, contribuir para a estratificação da camada superior do oceano e iniciar o *bloom* (Waniek et al., 2005).

Tabela 1 – Parâmetros obtidos pelo ajuste Gaussiano para o *bloom* nas regiões de plataforma e talude, na Bacia de Santos.

	Plataforma	Talude
$CSM_0$ (mg/m <sup>3</sup> )	0,49	0,07
$h/\sqrt{2\pi\sigma}$ (mg/m <sup>3</sup> )	0,34	0,10
$\sigma$ (meses)	1,43	2,07
$m_{max}$ (meses)	7,56	7,28
$m_{ini}$ (meses)	6,22	5,78

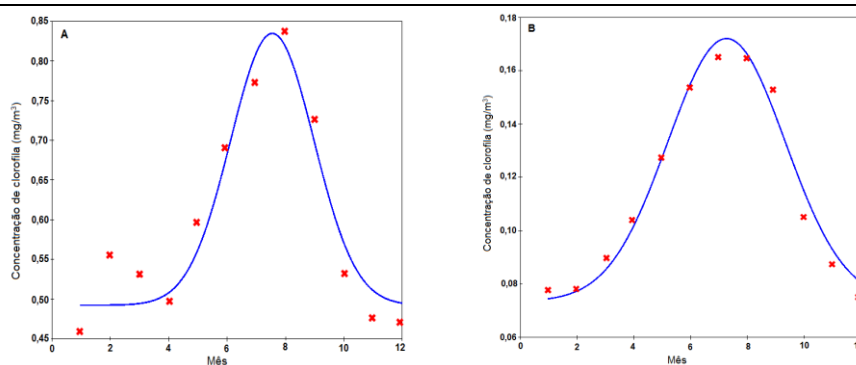


Figura 6 - Função Gaussiana (linha azul) ajustada às séries de valores médios de CSM MODIS (vermelho), no período 2003-2011, nas regiões de plataforma (A) e talude (B) na Bacia de Santos. Notar diferenças na escala vertical.

#### 4. Conclusões

A variação temporal da biomassa fitoplanctônica superficial na Bacia de Santos mostrou um ciclo sazonal anual com valores máximos durante o inverno. Fatores ambientais locais como a instabilidade da coluna de água evidenciado na maior velocidade do vento e maiores valores da PCM parecem ser promotores do início do *bloom* fitoplanctônico anual. O aporte de nutrientes trazidos por correntes oceânicas vindas do sul com maior chegada durante o inverno também contribui para a variabilidade anual da clorofila-*a*.

O monitoramento e a detecção de mudanças ambientais requerem um bom conhecimento das condições meteoceanográficas reinantes. A análise de séries temporais de produtos de satélite possibilita a geração de uma base de referência consistente. Espera-se que a aplicação de dados orbitais na caracterização ambiental de áreas estratégicas como a Bacia de Santos seja relevante para justificar a sua utilização de forma contínua, sustentável e por longo prazo.

#### Agradecimentos

Fonte financiadora Termo de Cooperação 0050.0066309.11.9  
INPE/FUNCATE/PETROBRAS.

#### Referências Bibliográficas

- Aidar, E.; Gaeta, S. A.; Giancesella-Galvão, S. M. F.; Kutner, M. B. B.; Teixeira, C. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. In: **Publicação especial Instituto oceanográfico**, São Paulo,(10), p 9-43.1993.
- Brandini, F.P. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). **Hydrobiologia**, v.196, p.111-148, 1990.
- Castro, B. D.; Lorenzetti, J. A.; Silveira, I. D.; Miranda, L. D. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B.; Madureira, L. (eds.), **O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**, p.11-120, São Paulo, EDUSP, 466p, 2006.
- Clancy, R. M.; Sadler, W.D. The Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center suite of oceanographic models and products. **Weather and Forecasting**, v.7, p. 307-27, 1992
- Dandonneau, Y.; Gohin, F. Meridional and seasonal variations of the sea surface chlorophyll concentration in the southwestern tropical Pacific (14 to 32°S, 160 to 175°E). **Deep-Sea Research**, v. 31, p.1377-1393, 1984.
- Dandonneau, Y.; Deschamps, P-Y.; Nicolas, J. M.; Loisel, H.; Blanchot, J.; Montel, Y.; Thieuleux, F.; Bécu, G. Seasonal and interannual variability of ocean color and composition of phytoplankton communities in the North Atlantic, equatorial Pacific and South Pacific. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v.51, p.1-3, 2004.
- Garcia, C.A.E.; Garcia, V. M. T.; McClain, C. R. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll algorithms in the Southwestern Atlantic and Southern Oceans. **Remote Sensing of Environment**, v.95, n.1, p.125-137, 2005.
- Gonzalez-Silveira, A.; Santamaria-del-Angel, E.; Millan-Nunez, R. Spatial and temporal variability of the Brazil-Malvinas Confluence and the La Plata Plume as seen by SeaWiFS and AVHRR imagery. **Journal of Geophysical Research - Oceans**, v.111, p.1-17. 2006.
- Kampel, M. **Estimativa da produção primária e biomassa fitoplanctônica através de sensoriamento remoto da cor do oceano e dados in situ na costa sudeste brasileira**. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 272p. 2003.
- Kampel, M.; Gaeta, S. A.; Lorenzetti, J. A.; Pompeu, M.; Rudorff, F. M.; Frouin, R. J. Bio-optical variability in coastal waters of southeast Brazil. In Proceedings of SPIE, v. 6680, p.66800O-1. 2007.
- Kampel, M. Caracterização do bloom anual de clorofila na Bacia de Campos (RJ) a partir de dados de satélite. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu, PE, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p.7864-7873. CD\_ROM, On-line ISBN 978-85-17-00066-9. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/biblioteca/>>. Acesso em: 03 nov. 2014.
- Morel, A.; Huot, Y.; Gentili, B.; Werdell, P.J.; Hooker, S.B.; Franz, B.A. Examining the consistency of products derived from various ocean color sensors in open ocean (Case 1) waters in the perspective of a multi-sensor approach. **Remote Sensing of Environment**, v.111, n.1, p. 69-88. 2007.
- O'Reilly, J. E., et al. Ocean color chlorophyll-a algorithms for SeaWiFS, OC2 and OC4. In: Hooker, S. B.; Firestone, E. R., (eds.). **SeaWiFS postlaunch technical reports series**. Greenbelt: NASA, 2000, v. 11, p-9-23, 2000.
- Piola, A. R.; Romero, S. I.; Zajaczkowski, U. Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color. **Continental Shelf Research**, v. 28, n.13, p.1556-1567, 2008.
- Reynolds, R. W.; Smith, T. M.; Liu, C.; Chelton, D. B.; Casey, K. S.; Schlax, M. G. Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature. **Journal of Climate**, v.20, p.5473-5496, 2007.
- Risien, C.M.; Chelton, D.B. A Global climatology of surface wind and wind stress fields from eight years of QuikSCAT scatterometer data. **Journal of Physical Oceanography**, v.38, p.2379-2413, 2008.
- Siegel, D. A.; Doney, S. C.; Yoder, J. A. The North Atlantic spring phytoplankton bloom and Sverdrup's Critical Depth Hypothesis. **Science**, v.296, p.730-733, 2002.
- Stramska, M. Interannual variability of seasonal phytoplankton blooms in the north polar Atlantic in response to atmospheric forcing, **Journal of Geophysical Research**, v.110, p.1-17, 2005.
- Sverdrup, H.U. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. **Journal du Conseil Permanent International Pour L'Exploration de la Mer**, v.18, p.287-295, 1953.
- Waniek, J. J.; Holliday, N. P.; Davidson, R.; Brown, L.; Henson, S. A. Freshwater control of onset and species composition of Greenland shelf spring bloom. **Marine Ecology Progress Series**, v.288, p.45-57, 2005.