

ANÁLISE TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-*a* DA SUPERFÍCIE DO MAR NA REGIÃO OCEÂNICA SUDESTE BRASILEIRA

Larissa Patricio Valério; Milton Kampel; Fabio Dall Cortivo; Gustavo Provout Ortiz

larissa@dsr.inpe.br (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE)

ABSTRACT

In order to analyze the variability of phytoplankton *blooms*, a thirteen-year chlorophyll-a time series (1998-2010) was done from GlobColour weekly (8-days) product data set. The maximum chlorophyll-a and the increasing biomass beginning year days were computed from the original data and from the original data adjusted with a Gaussian curve model. The time series showed a clear seasonal pattern with increasing amplitude of chlorophyll-a value, and a positive trend toward the maximum values were found. The maximum chlorophyll-a year day was predominant in July (southern winter), and phytoplankton *blooms* were found to begin in April/May (southern fall) corroborating studies in the North Atlantic and South Pacific. The modeled ones showed the same patterns, indicating a good agreement with the original data set, except the magnitude of the values which were not exactly reproduced by the model, which smoothed the data.

Keywords: timing, spring bloom, time series.

INTRODUÇÃO

O fitoplâncton marinho é responsável pela metade da produtividade primária global, força-motriz da bomba biológica do carbono e da transferência de energia para níveis tróficos superiores nos oceanos (Sommer et al., 2012). A magnitude e o tempo de duração (“*timing*”) da produtividade fitoplanctônica tem impactos significativos no desenvolvimento do zooplâncton e na sobrevivência de larvas de peixes pelágicos (Henson et al., 2009). Seu principal evento, a floração de primavera ou “*spring bloom*” é uma formação anual de sazonalidade marcada, onde as condições fornecidas pelo ambiente regulam o crescimento e a subsequente diminuição da produtividade fitoplanctônica.

A descrição clássica de desenvolvimento inicial do *bloom* foi inserida por Sverdrup (1953), para o Atlântico Norte subpolar. Segundo essa definição, como no inverno predomina uma maior profundidade da camada de mistura e baixos ângulos de incidência solar, o crescimento é limitado. Assim que ocorre o aumento na quantidade de luz incidente e a diminuição da profundidade de mistura a uma “profundidade crítica”, as taxas de crescimento excedem as de perda e o *bloom* se inicia, frequentemente na primavera boreal. Porém nas regiões subtropicais, se houver uma condição persistente ao longo do ano, da camada de mistura rasa e alta intensidade de irradiância solar, o resultado é uma limitação de nutrientes em superfície. Nesse caso, o *bloom* pode se iniciar no outono ou no inverno (Henson et al., 2009).

Como indexador da biomassa fitoplanctônica, um dos produtos do sensoriamento remoto, a concentração de clorofila-*a* tem sido utilizada em estudos acerca do tempo e magnitude dos *blooms* no Atlântico Norte (Siegel et al., 2002; Henson et al., 2009; Kahru et al., 2011) e no Pacífico (Dandonneau et al. 2004). No Atlântico Sul, adjacente à plataforma sudeste brasileira, não existem relatos sobre a duração e magnitude dos *blooms* de maneira temporal. Assim, esse trabalho propõe uma avaliação da variabilidade temporal da concentração de clorofila-*a* superficial, como evidência de ocorrência dos *blooms* fitoplanctônicos no oceano Atlântico Sudoeste.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram extraídos e processados dados do projeto Globcolour (<http://www.globcolour.info/>), no setor de 20°S a 30°S e de 39°W a 49°W, adjacente à plataforma sudeste brasileira (Figura). Os produtos resultam da fusão de dados em nível 2 de processamento, obtidos de distintos sensores orbitais independentes que contribuem no fornecimento de parâmetros ambientais. Os sensores

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS Aqua), *Medium Resolution Imaging Spectrometer* (MERIS), e *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS) fornecem a concentração de clorofila em mg/m baseados em diferentes formulações. A fusão dos dados é obtida pelo método de médias ponderadas (http://www.globcolour.info/CDR_Docs/GlobCOLOUR_PUG.pdf). Faz-se necessário o procedimento de inter-calibração dos dados com o objetivo de computar concentrações compatíveis entre os produtos em nível 3 (IOCCG, 2007). Posteriormente é calculada a média aritmética ou ponderada dos dados calibrados, gerando a concentração de clorofila-*a* final. O produto aqui utilizado é gerado pelo método GSM somente (Maritorena & Siegel, 2005), onde as radiâncias normalizadas ascendentes de cinco comprimentos de onda de cada sensor funcionam como entrada, e uma das saídas é a concentração de clorofila-*a*. As saídas fornecem produtos em composição diária, semanal e mensal. Estes são originalmente formatados em uma grade sinusoidal intergerisada (ISIN) de resolução de 1/24° no equador (4,63 km) utilizando um sistema de referência geográfica para fixar as contribuições de cada pixel na nova grade do produto final (nível 3). Ao adquirir o produto, tornou-se necessário uma transformação para grade retangular a fim de facilitar a manipulação dos dados.

Escolheu-se trabalhar com uma composição semanal (8 dias) e uma máscara baseada na profundidade (isóbatas da base de dados do ETOPO-1) foi aplicada nos dados, a fim de se dividir a região em área costeira (isóbatas <200 m) e área oceânica (isóbatas >200 m até os limites do polígono). Os pixels da área costeira (isóbatas <200 m) foram desconsiderados nesta análise. Dentro destas limitações geográficas, a média aritmética da concentração de clorofila-*a* foi gerada, compondo então a série temporal semanal analisada.

Para definir os índices de início e do ápice do *bloom*, baseamo-nos na metodologia utilizada por Siegel et al. (2002), onde o ápice seria o dia do ano em que a concentração de clorofila-*a* é máxima (YDMax). Já a data de início seria aquela na qual a concentração de clorofila-*a* se elevasse à um pequeno limiar acima da mediana calculada para o período de um ano (YDIni). Como o *bloom* deve corresponder à um grande incremento na biomassa acima do normal, usa-se a mediana, além do que, essa estatística serve para eliminar a influência de grandes e eventuais *outliers*. O limiar aqui foi um incremento de 5% acima do valor da mediana, como sugerido na literatura. Os índices de tempo de início e ápice da concentração de clorofila-*a* foram definidos com base nas composições semanais (8 dias). Sendo assim, a data de cada índice se refere exatamente à data da composição. Segundo Henson et al. (2009), um atraso no início do *bloom* pode ocorrer na escala de semanas, sendo esta composição suficiente para a análise proposta.

Os procedimentos de análise foram aplicados aos dados originais, e também aos dados modelados por uma função de ajuste gaussiana. Nesse modelo buscou-se definir uma função de valor que minimiza a distância entre a curva gerada pelo modelo e a curva dos dados originais por meio de diferenças quadráticas. Para a resolução do problema foi escrito um código em FORTRAN 90, no qual se implementou o método quasi-Newton. Assim, tendo um modelo de ajuste ótimo aos dados de uma série temporal anual, podemos realizar inferências a respeito da variabilidade de eventos não estacionários, como o *bloom*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Além de marcada sazonalidade na série temporal de 13 anos, a estatística descritiva mostra que a concentração média anual de clorofila-*a* teve uma leve tendência positiva, oscilando entre 0,08 e 0,1 mg/m ao longo de toda a série. Os valores de concentração máxima observada em superfície chegam a 0,1494 mg/m, no ano de 2007. Os valores alcançaram um mínimo de 0,0362 mg/m em 2009. Considerando que os valores de máximo mostraram uma tendência positiva e os de mínimo, uma tendência negativa, existe um aumento da amplitude de valores de concentração de clorofila-*a* na série temporal. Em 2009 a diferença entre a concentração máxima e mínima alcançou 0,1019 mg/m, sendo a maior marca registrada para a série. Tal resultado ficou evidente no gráfico que mostra a dispersão dos dados (Figura 1), através das estatísticas descritivas, como mínimos e máximos primeiro, segundo e terceiro quartis, média e mediana. Os anos de 2009 e 2010 apresentaram uma maior dispersão dos dados, e 2001 houve um *outlier* em direção a altos valores. Os dados modelados mostraram uma boa concordância com os dados originais, porém houve uma diferença de amplitude

nos dados referente à magnitude da concentração de clorofila-*a*, pois a aproximação mostrou suavizar os dados originais (Figura 3).

Com base nos dados originais, foi calculado o dia de início do *bloom* (YDIni) e no gráfico (Figura 2) fica evidente que em 9 anos o *bloom* se iniciou entre a primeira e a segunda semana de maio. Com exceção de 2000, 2008 e 2009, em que o início foi marcado no final de março, e nas primeiras semanas de abril. Somente um *bloom* se iniciou no final de maio, em 1999, sendo o qual ocorreu mais tardiamente. Nos dados modelados pela função de ajuste o dia do início do *bloom* se estende entre as últimas semanas de abril e até a terceira semana de maio somente. Nos anos de 2009 e 2010 porém, ambos se iniciaram no dia 7 de abril. Os dias em que a concentração de clorofila-*a* foi máxima (YDMax), indicando o pico do evento, nos dados originais, demonstram que de 1998 à 2002 o pico se estabelece entre as últimas semanas de agosto e início de setembro, e nos dados modelados há uma discrepância de datas, as quais marcam o pico entre o início e final de julho para estes anos. A partir de 2003 eles ocorreram em sua maioria entre junho e julho nos originais. Entretanto nos dados modelados, há um padrão no qual os máximos de concentração de clorofila-*a* ocorreram somente em julho, com exceção do ano de 2009, que foi na última semana de junho.

Na figura 3 as curvas originais (Figura 3a) não são facilmente distinguidas, enquanto que nas modeladas (Figura 3b), observa-se melhor os padrões dos índices aqui investigados. Já na figura 4, a sobreposição da curva modelada sobre a original referente à concentração de clorofila-*a* ano de 2007, exemplifica a comparação dos dados originais aos modelados, feita em todos os anos da série.

Com relação ao tempo de início do *bloom*, no Atlântico Norte para as faixas subtropicais, este pode variar inter-anualmente entre 2 a 3 semanas, no modelo proposto por Henson et al. (2009), corroborando com as análises deste trabalho. Ainda, segundo Kahru et al. (2011) existe uma diferença de *timing* entre as latitudes no Atlântico Norte, sendo que nas regiões equatoriais o máximo de concentração de clorofila-*a* é alcançado em abril. Entre 10°N e 25°N, o máximo se dá em julho (verão) e na altura de 30°N em fevereiro (inverno), à 46°N em setembro (outono). No Pacífico Sul, o máximo ocorre em julho (inverno), na latitude de 20°S, em agosto (inverno) à 40°S, e em dezembro (verão) à 50°S (Dandonneau et al., 2004). Estas diferenças podem estar ligadas às oscilações interanuais nas temperaturas de superfície, ou associadas também aos ciclos climáticos, tais qual a Oscilação Decadal do Pacífico ou a Oscilação do Atlântico Norte (Kahru et al., 2011). Considerando que a região aqui estudada encontra-se entre 20-30°S e o seu máximo ocorre em julho (inverno), estes resultados estão de acordo com os encontrados para as mesmas latitudes no Atlântico Norte e no Pacífico Sul.

CONCLUSÕES

O inverno foi considerado a estação onde ocorre o máximo da floração em superfície da região, para o intervalo de 1998 a 2010. Os meses de abril e maio (outono) foram considerados os de início do *bloom*. Como a série analisada é relativamente curta, não foi possível concluir se existe uma tendência de atraso ou antecipação do *bloom*. O que pode ser notado foi o aumento da amplitude de valores de concentração de clorofila-*a* na série, porém outros processos devem ser investigados para confirmar tal hipótese. A intensidade dos ventos e a profundidade da camada de mistura, a temperatura da superfície do mar e feições como correntes oceânicas e vórtices podem influenciar no tempo de ocorrência e magnitude de eventos biológicos. Ao se monitorar a duração dos *blooms*, deve-se levar em consideração erros em relação à definição do dia do máximo, quando da presença de nuvens, e à determinação da data referente à da composição. Em relação aos dados fusionados, as diferenças entre os sensores e seus respectivos algoritmos podem levar a falhas de pequena ordem. A avaliação do tempo de duração do *bloom* pode ser uma métrica bastante útil para avaliar a habilidade de modelos biogeoquímicos, pois isso reflete em características de hidrografia e de circulação na escala de bacias, além das características da própria dinâmica dos *blooms*.

REFERÊNCIAS

Dandonneau, Y.; Deschamps, P. Y.; Nicolas, J. M., et al., 2004. Seasonal and interannual variability of ocean color and composition of phytoplankton communities in the North Atlantic, equatorial Pacific and South Pacific, Deep-Sea Research. Pt. II, 51: 303–318.

IOCCG. 2007. Report nº 6: Ocean-Colour Data Merging. Watson W. Gregg (editor), 68 p.

Henson S. A.; Dunne, J. P.; Sarmiento, J. L. 2009. Decadal variability in North Atlantic phytoplankton *blooms*. *Journal of Geophysical Research*, 114 :1-11.

Maritorena, S.; Siegel, D. A. 2005. Consistent merging of satellite ocean color data sets using a bio-optical model. *Remote Sensing of Environment*, 94: 429–440.

Siegel, D.A.; S.C. Doney and J.A. Yoder, 2002: The spring *bloom* of phytoplankton in the North Atlantic Ocean and Sverdrup's critical depth hypothesis. *Science*, 296: 730-733.

Sommer, U.; Aberle, N.; Lengfellner, K.; Lewandowska, A. 2012. The Baltic Sea spring phytoplankton *bloom* in a changing climate: an experimental approach. *Marine Biology*, Springer Verlag, 159 (2).

Sverdrup, H.U., 1953. On conditions of the vernal *blooming* of phytoplankton. *Journal du conseil international pour l'exploration de la mer*, 18: 287-295.

Figura 1: *Boxplot* da distribuição estatística dos dados anuais de concentração de clorofila-*a* (mg/m³). A linha central representa a mediana dos dados, os extremos do retângulo central os quartis, e os extremos fora do retângulo, os valores mínimos e máximos. O círculo destacado se refere a um valor atípico, ou *outlier*.

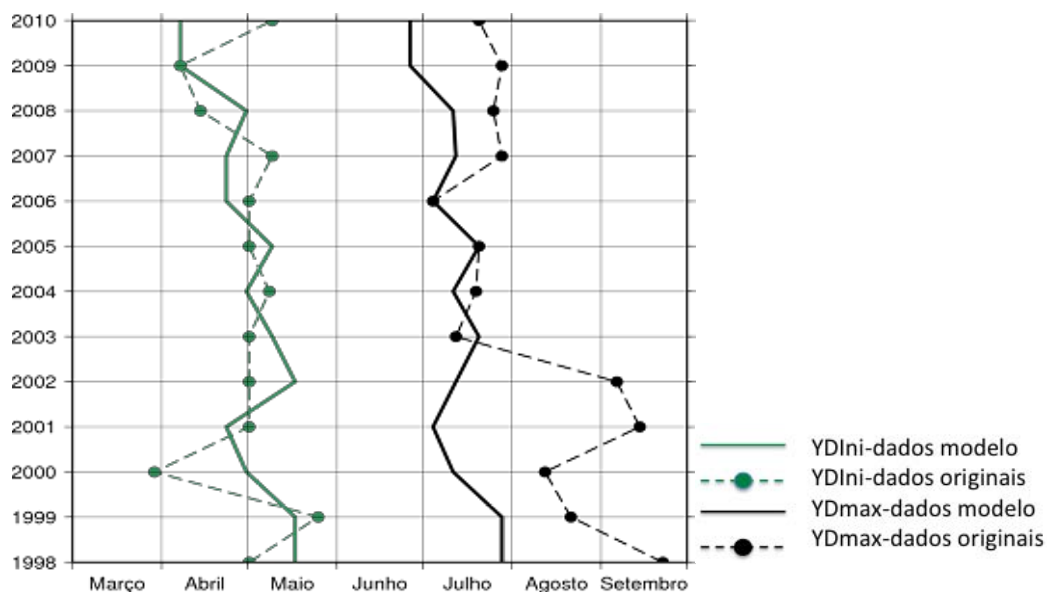


Figura 2: Indicadores de cronologia do *bloom* na série temporal. As linhas verdes indicam os dias de início do *bloom* (YDIni), e as linhas pretas, os dias correspondentes aos valores máximos de concentração de clorofila-*a* (YDMax), indicando o pico do evento. A linha contínua indica os dados do modelo, e a pontilhada os dados originais.

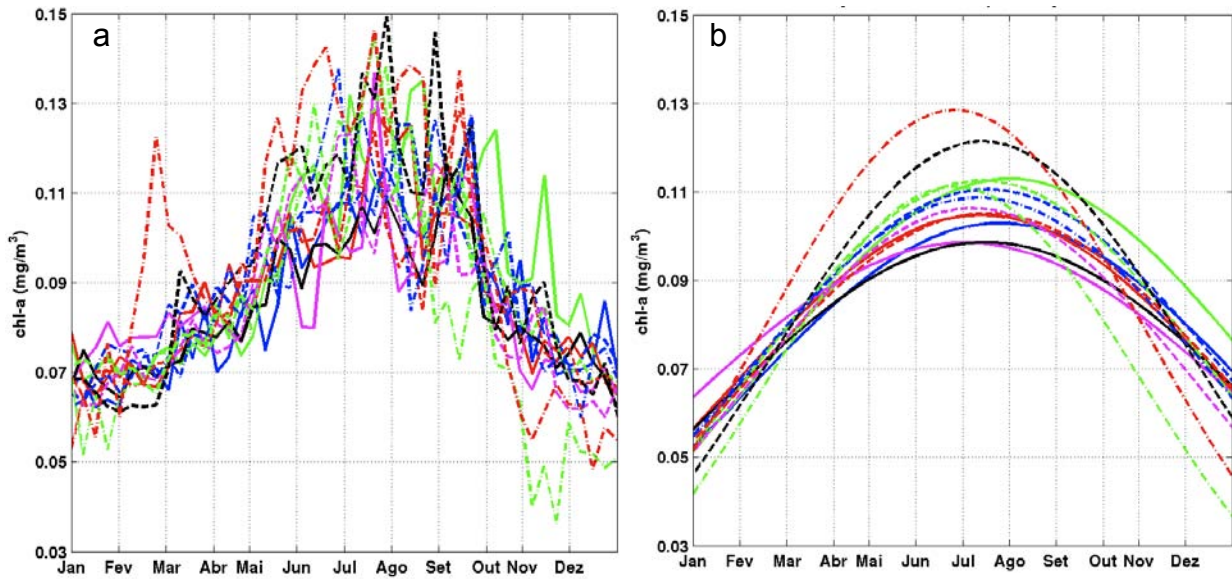


Figura 3: Curvas originais (a) e curvas modeladas (b) da concentração de clorofila-*a*, sobrepostas referentes à série temporal (1998-2010).

Figura 4: Curva da concentração de clorofila-*a* original e a curva modelada sobreposta, referente ao ano de 2007, como exemplo do desempenho da aproximação do ajuste gaussiano.