

Classificação de habitats pelágicos da costa brasileira

Aline de Matos Valério¹

Milton Kampel¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{alineval, milton}@ dsr.inpe.br

Abstract. The pelagic area is inhabited by organisms that depend on water masses which have characteristics most appropriate to its life cycle. To develop a partitioning of pelagic habitats it is crucial to consider that the ocean is not homogeneous and the distribution of these habitats varies in space and time. Therefore, to make a clustering analysis close to reality, it is necessary that the dynamic nature of the ocean to be included in the study. The aim of this work was to characterize the spatio-temporal distribution of pelagic habitats in the Brazilian coast using satellite and modeled data. For this work, we used the following data: surface chlorophyll-a concentration, sea surface temperature, bathymetry, primary production and nitrate climatology. The region was defined between 5°N to 35°S and 53° to 33°W, and the period was defined as 2005 to 2010, with a total of 72 images of each variable. For the proposed goal, it was possible to discern the spatial-temporal distribution of a total of five persistent pelagic habitats on the Brazilian coast by using satellite data and *in situ* data, and also by using the k-mean method. These five habitats varied little in size over the years but it is possible to observe differences at the location of the clusters, thus illustrating the importance of studying the spatial-temporal dynamics by defining the pelagic habitats. A greater seasonality is observed for clusters related to the Amazon River mouth and the water mass at the Western Equatorial Atlantic.

Palavras chaves: sensoriamento remoto, análise espacial, classificação k-média, bioregionalização.

1. Introdução

A coluna de água acima do substrato oceânico constitui o domínio pelágico e é um ambiente ecológico habitado por organismos que dependem de características das massas de água mais adequadas ao seu ciclo de vida. Essas características podem abranger muitos parâmetros tais como a temperatura, salinidade, oxigênio, fitoplâncton e nutrientes. Por sua vez, esses parâmetros variam também de acordo com outras variáveis como batimetria, campo de ventos e aporte de água doce proveniente de rios.

As características de determinadas massas de água podem também influir na caracterização de habitats pelágicos. Assim, quando há propriedades espaciais coerentes e persistentes ao longo do tempo, regiões podem ser definidas. Baseado nestes preceitos, Longhurst et al. (1995) determinou 57 províncias biogeoquímicas em regiões oceânicas do planeta.

Ao desenvolver uma classificação de habitats pelágicos é fundamental lembrar que o oceano não é homogêneo e nem estático. Por isso, muitos dos esquemas de regionalização oceânica são representações de certa forma limitadas já que o oceano não segue linhas definidas e a distribuição de habitats varia no espaço-tempo. Muitos estudos de bioregionalização ignoram o componente temporal na distribuição espacial. Em regiões com alta dinâmica sazonal, o mesmo local fixo no oceano pode cair dentro de diferentes habitats, dependendo da época do ano (Hobday et al., 2011).

Para fazer uma classificação de habitats mais próxima da realidade, é necessário que a natureza dinâmica do oceano seja incluída no estudo. Definir os habitats é uma tarefa importante, já que espécies possuem afinidades particulares por diferentes habitats marinhos. Assim, ao definir habitats dinâmicos, estratégias de manejo podem ser melhor desenvolvidas.

No Brasil, foi proposto por Castro e Miranda (1998) a divisão da Plataforma Continental Brasileira (PCB) em seis regiões. Essas regiões foram divididas de acordo com os processos físicos e presença de massas de águas distintas. A PCB possui registros de dados *in situ* esparsos e não sistemáticos e produtos derivados do sensoriamento remoto da cor do oceano são muito valiosos (Ciotti et al., 2010).

O uso de imagens de satélite se tornou indispensável para a pesquisa e monitoramento de processos oceanográficos, assim como para a determinação de províncias ecológicas utilizando dados remotos de cor do oceano (Platt e Sathyendranath, 1999; Gonzalez-Siqueira et al., 2004; Devred et al., 2007; Hobday et al., 2011). Os dados sinóticos obtidos por sensoriamento remoto contribuem ao obter informação sobre uma área cuja amostragem *in situ* seria mais demorada e dispendiosa (Pottier et al., 2006). Ainda assim, os dados *in situ* são essencialmente importantes para validar os dados de sensores remotos, de modo que um é complementar ao outro.

O objetivo deste trabalho foi definir a distribuição espaço temporal de habitats pelágicos diferenciáveis na costa brasileira utilizando variáveis oceanográficas medidas por sensoriamento remoto e *in situ*.

2. Metodologia de Trabalho

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados de concentração de clorofila-a na superfície do mar (chl-a), temperatura da superfície do mar (TSM), batimetria, produtividade primária (PP) e climatologia de nitrato na região entre 5°N a 35°S e 53° a 33°W, durante o período de 2005 a 2010, com um total de 72 imagens para cada variável obtida por sensoriamento remoto. Para os dados de chl-a e TSM foram utilizadas composições mensais utilizando imagens MODIS Aqua com resolução espacial de 4 km obtidas no portal Ocean Color Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).

A climatologia de nitrato é um dado interpolado que utiliza vários bancos de dados de cruzeiros oceanográficos. Para este trabalho foi utilizada a profundidade de 100m e este dado foi obtido pelo *World Ocean Atlas 2009*, no portal da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) com resolução espacial de 1 grau (Garcia et al., 2010).

A batimetria foi obtida pelo modelo global ETOPO1 que reúne vários bancos de dados, com resolução espacial de 1 arc-minuto, este modelo também se encontra no portal da NOAA.

Para os dados de PP foi selecionado o modelo de produtividade primária baseado em taxas de carbono. Este modelo utiliza coeficientes de retroespalhamento e coeficientes de absorção do fitoplâncton a partir de um algoritmo de combinação espectral (GSM Spectral Matching Algorithm) além de parâmetros de eficiência fotossintética como transparência da água (K490) e profundidade da camada de mistura (PCM) (Behrenfeld et al., 2005). Este modelo também é mensal e com resolução espacial de 1 km. A Tabela 1 mostra as variáveis utilizadas neste trabalho

Tabela 1. Dados utilizados para definir habitats pelágicos da costa brasileira.

Dados	Período disponível	Resolução Temporal	Resolução Espacial (km)	Extensão
chl-a ($\mu\text{g/l}$)	1/7/2002 - 01/07/2012	mensal	4km	hdf
TSM ($^{\circ}\text{C}$)	1/7/2002 - 01/07/2012	mensal	4km	hdf
Batimetria (m)	atemporal	atemporal	1 km	grd
Produtividade Primária (mg C m^{-2})	1/10/1997 - 01/05/2010	mensal	1km	hdf
Nitrato ($\mu\text{mol l}^{-1}$)	23/05/1950-16/02/2008	Climatologia	111km	netcdf

Como os dados apresentam diferentes resoluções espaciais, optou-se por dividir a região de estudo em uma grade de 0.5° por 0.5° em latitude e longitude. Para isso, foi feita uma janela móvel média de 3x3 em todos os dados.

Como os dados possuem unidades e escalas diferentes, estes foram normalizados em uma escala de 0 a 1 utilizando os valores mínimos e máximos de cada matriz de dado (Equação 1):

$$\frac{\text{Variável} - \text{mínimo}}{\text{máximo} - \text{mínimo}} \quad (1)$$

Com o propósito de definir a distribuição espaço temporal de habitats pelágicos foi feita uma classificação hierárquica prévia pelo método do dendrograma, definindo assim, o número de classes. Para evitar um resultado tendencioso ao colocar muitos dados de climatologia optou-se por incluir apenas a climatologia de nitrato no último mês de cada ano analisado. Com o número de classes definido, foi realizada uma classificação não supervisionada k-média. Toda a metodologia do trabalho foi desenvolvida em ambiente Matlab.

O k-média é um algoritmo de agrupamento onde k é o número de classes que se deseja obter e que devem ser informadas antecipadamente ao determinar as posições iniciais dos centroides dos clusters. Este algoritmo tem como função agrupar cada elemento ao cluster do centroide mais próximo e recalculer os centros dos clusters a partir dos elementos agrupados (Schowengerdt, 1997).

Os habitats pelágicos foram identificados por meio do k-média para cada mês do período de 2005 a 2010. Para poder trabalhar com todas as 72 datas disponíveis, foi montada uma matriz 3D, onde cada data é uma camada da matriz. Para a coerência entre os agrupamentos ao longo dos anos, foram escolhidos os centroides a partir de estatísticas da média do período estudado. Os centroides foram escolhidos a partir de desvio padrão, desvio padrão negativo, mediana, máximo.

Para utilizar o método de k-média, é necessário que a matriz tenha valores atribuídos a todos seus elementos, ou seja, o algoritmo não entende a falta de informação. Por isso, para todas as lacunas da imagem foi atribuído o valor -9999. Também foi feito um mapa de probabilidade para cada classe resultante.

3. Resultados e Discussão

O dendrograma gerado para cada mês ao longo dos anos, indicou 6 classes (Figura 1), sendo que uma classe era previamente conhecida como sendo pertencente ao continente. Sendo assim, durante o desenvolvimento do trabalho foram definidas 5 classes.

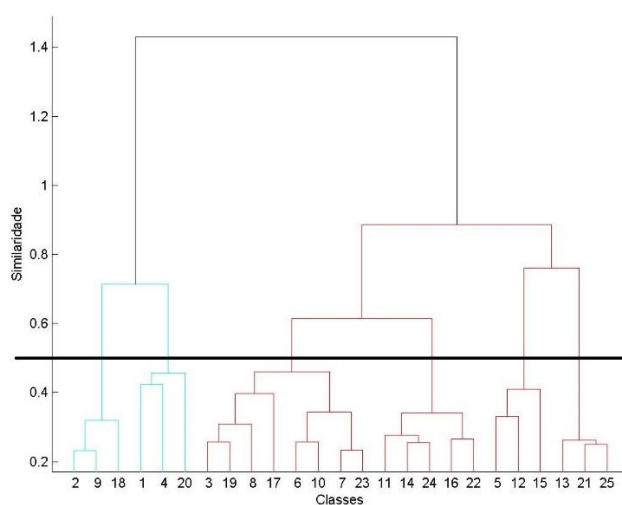


Figura 1. Dendrograma gerado para o mês de janeiro de 2005 utilizando as variáveis: clorofila, temperatura da superfície do mar, batimetria e produtividade primária.

O resultado das cinco classes definidas para a costa brasileira é apresentado na Figura 2 para o ano de 2005. Pode ser observado que alguns habitats pelágicos apresentam sazonalidade embora outros pouco variem ao longo dos meses.

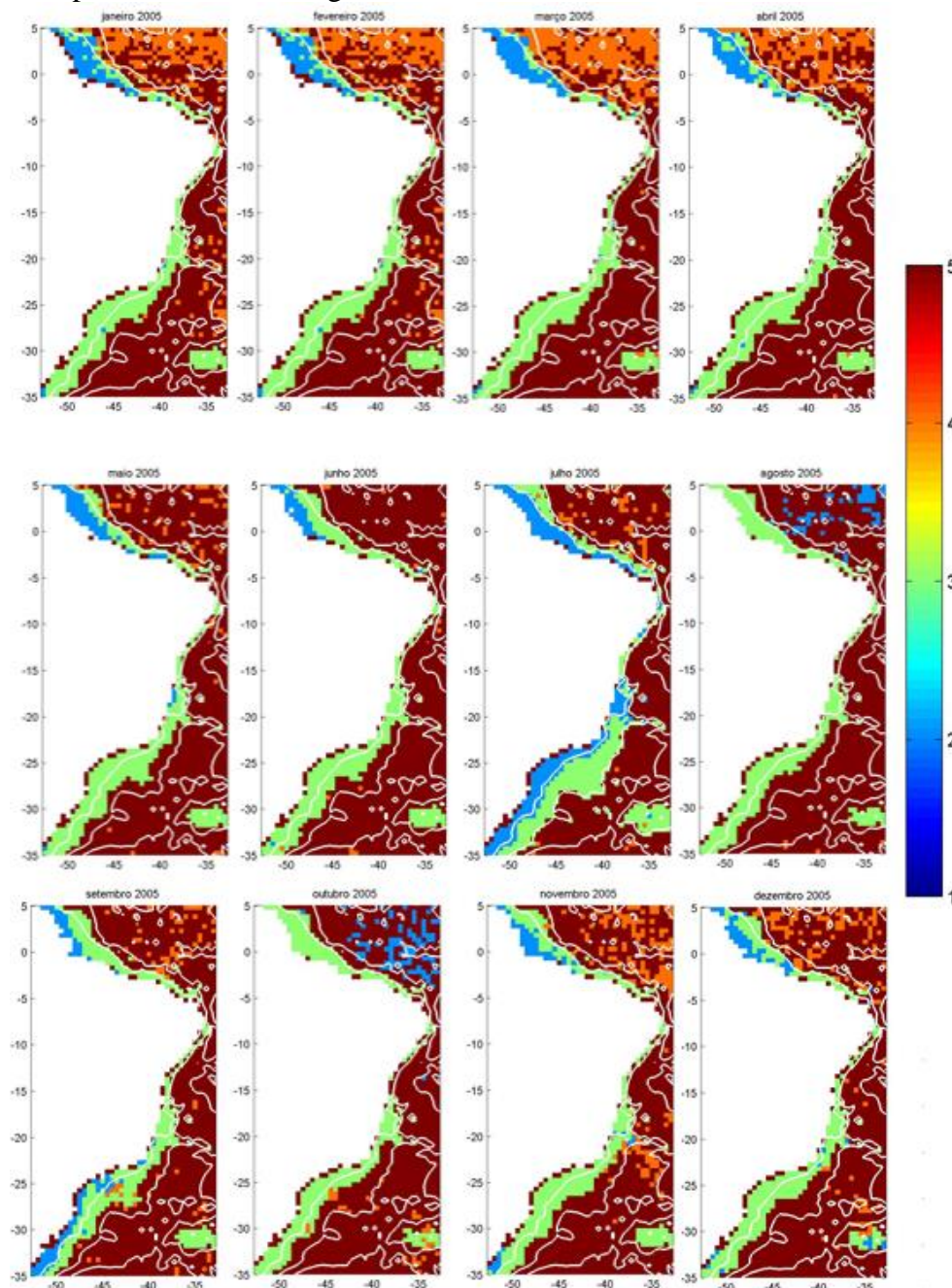


Figura 2. Classificação dos habitats pelágicos da costa brasileira usando o método de k-média para o ano de 2005.

O mapa de probabilidade para cada habitat ao longo do período de 6 anos foi criado (Figura 3) ao somar o número de meses no qual um pixel foi classificado como de um habitat em particular, expresso em forma de porcentagem.

Pode ser observado que a Classe 1 possui pouca contribuição a classificação de habitats pelágicos. Esta classe está restrita a costa norte, próximo a foz do Rio Amazonas e também pode ser uma representação de confusão na classificação. A Classe 2 tem maior representação na foz do Amazonas, mas também aparece na região da foz do Rio Doce e ao sul do Brasil

provavelmente uma massa de água influenciada pelo desague do Rio da Prata. Durante os meses de janeiro a abril há a maior vazão do Rio Amazonas (Molleri et al., 2010) assim como uma maior representação da Classe 2 nessa região. A Classe 3 aparenta seguir a plataforma continental. O domínio de zona costeira é definido por Mittelstaedt (1991) para regiões em que a circulação oceânica é significativamente modificada pela interação da batimetria e o regime de vento. Esse limite costeiro normalmente é dominado por uma frente de quebra de plataforma e inclui regiões com áreas de ressurgência costeiras associadas a vórtices anticiclônicos (Longhurst et al., 1995). A Corrente do Brasil vai desde a bifurcação da Corrente Sul-Equatorial a 10°S por toda a costa até uns 42°S onde encontra com a corrente das Malvinas (Longhurst et al., 1995), que é a região onde a Classe 3 tem maior representação até 35°S.

Simulações numéricas mostram que a estrutura termohalina da região compreendida entre Cabo Frio a 23°S e Cabo de Santa Marta a 28°40'S pode ser descrita como estável com maiores interações no fundo da plataforma com a Corrente do Brasil. O vento também influencia a circulação local na plataforma (Matano et al., 2010).

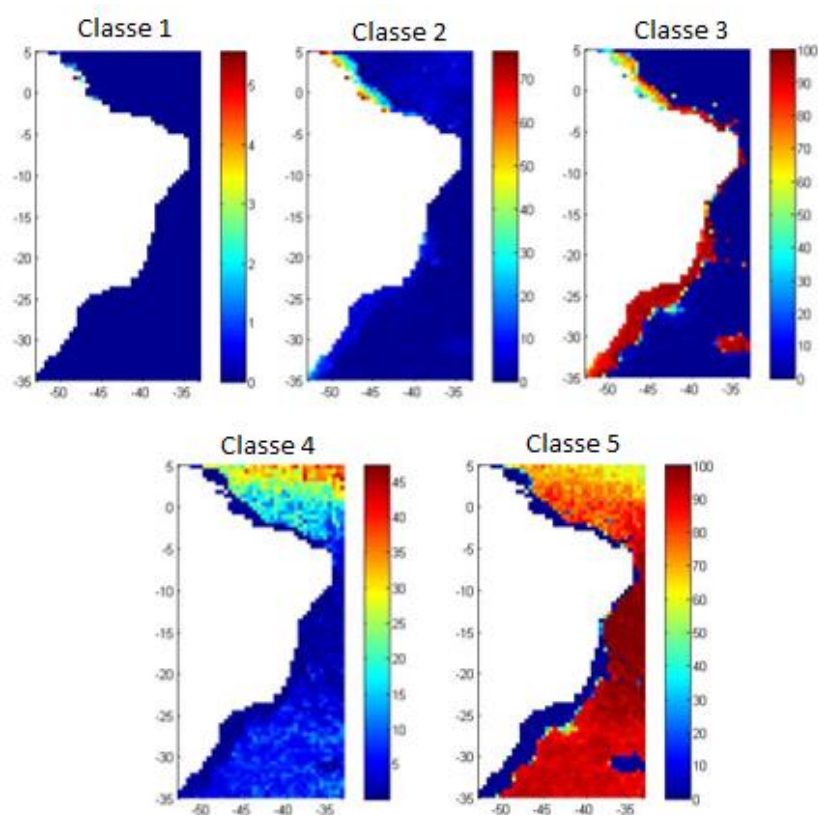


Figura 3. Mapa de probabilidade das cinco classes definidas para os habitats pelágicos da costa brasileira

A massa de água associada a Classe 4 representa processos oceanográficos que atuam na região do Oceano Atlântico Equatorial Oeste. Estes processos oceanográficos proporcionam trocas de temperatura e salinidade entre as massas de água, desempenhando um papel significativo na manutenção do balanço térmico entre os hemisférios (Goes et al., 2005), assim como há uma importante interação oceano-atmosfera com a presença dominante de ventos alísios. Dentre os processos oceanográficos dessa região, dois podem ser destacados: a retroflexão da Corrente Norte do Brasil (Goes et al., 2005) e a Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) (Waliser e Gautier, 1993). De acordo com Stramma e Schott (1995) com o aumento da TSM mais ao norte do equador durante o verão do hemisfério norte, a ITCZ se

direciona a essa região principalmente durante o mês de agosto. Como pode ser observado na Figura 2, a Classe 4 apresenta a menor representação durante o mês de agosto, assim, esta classe parece ser regida principalmente pela TSM como também foi observado por Perez et al (2005) para as regiões do Oceano Atlântico Equatorial Oeste e Leste. A Classe 5 é dominante nesta classificação e é caracterizada por águas oceânicas.

Com o propósito de avaliar se as áreas das classes variaram de tamanho ao longo dos anos foram selecionados os pixels representantes de cada classe das 72 imagens classificadas (Figura 4). O que pode ser observado é que, durante o período estudado, as classes se mantiveram estáveis em sua maioria com uma mínima tendência ao aumento no tamanho da Classe 2.

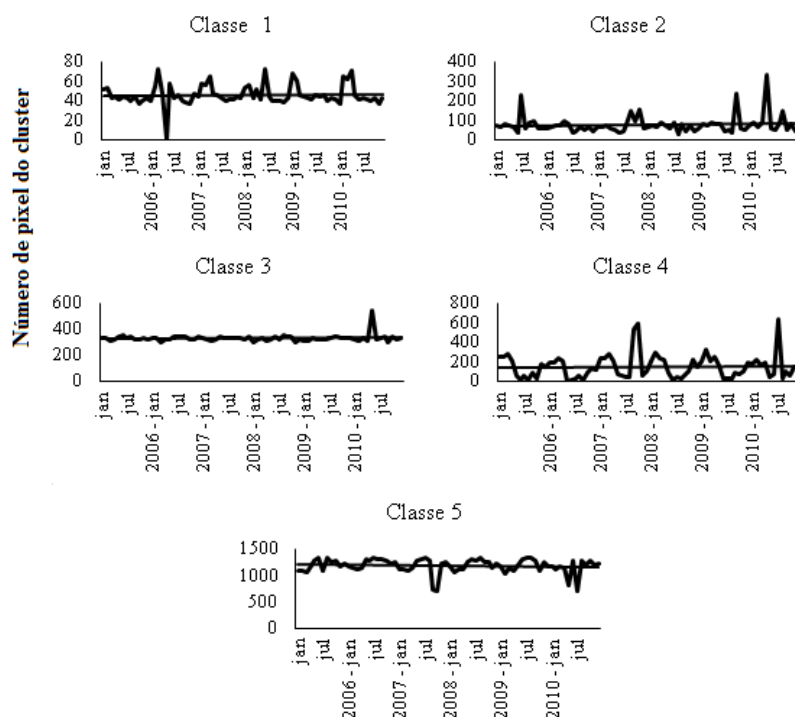


Figura 4. Somatória de pixel representante para cada mês dentro do período de 2005 a 2010.

4. Conclusões

Para o objetivo proposto, foi possível definir a distribuição espaço temporal de um total de cinco habitats pelágicos persistentes na costa brasileira utilizando dados de satélite e modelados a partir de uma classificação não supervisionada k-média. Esses cinco habitats pouco variaram em tamanho ao longo dos anos, mas ainda assim é possível observar diferenças em tamanho e localização das classificações demonstrando a importância de se estudar a dinâmica espacial-temporal ao se definir habitats pelágicos dinâmicos. Uma maior sazonalidade é observada para as classes relacionadas a foz do Rio Amazonas e região do Oceano Atlântico Equatorial Oeste.

Este tipo de estudo pode ser usado para desenvolver estratégias de monitoramento ao distinguir padrões devido a variações espaço-temporais.

Como sugestão para trabalhos futuros, o método de classificação Fuzzy pode ser mais indicado para este tipo de classificação já que é mais flexível em relação ao k-média. O método Fuzzy não fica preso aos centroides predeterminados como no caso do k-média e assim para cada ponto da matriz de dado é conferido um peso que varia de zero a um, indicando se pertence ou não a um cluster. Deste modo, o mesmo pixel pode pertencer a mais de uma classe e permite que maiores variações entre as classes sejam reconhecidas. Este método pode determinar novas classes ou ao menos adequar melhor as existentes.

Outra sugestão seria trabalhar com outras variáveis como por exemplo o vento, salinidade e matéria orgânica dissolvida.

Referências Bibliográficas

- Behrenfeld, M., Boss, E., Siegel, D.A., Shea, D.M. Carbon-based ocean productivity and phytoplankton physiology from space. **Global biogeochemical Cycles**, v. 19, 2005.
- Castro, B.M., Miranda, L.B. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4 1 N and 34 1 S. In: Robinson, A.R., Brink, K.H. (Org.), **The Sea**. New York: Wiley, 1998. pp. 209–251.
- Ciotti, A.M., Garcia, C.A.E., 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**, v.5 (2), 236-253.
- Dreved, E., Sathyendranath, S., Platt, T. 2007. Delineation of ecological provinces using ocean color radiometry. **Marine Ecology Progress Series**, v. 346, 1-13.
- Garcia, H. E., R. A. Locarnini, T. P. Boyer, J. I. Antonov, M. M. Zweng, O. K. Baranova, and D. R. Johnson, 2010. **World Ocean Atlas 2009**, Volume 4: Nutrients (phosphate, nitrate, and silicate). S. Levitus, Ed., NOAA Atlas NESDIS 71, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 398 pp.
- Goes, M., Molinari, R., Silveira, I. Wainer, I. 2005. Retroreflections of the North Brazil Current during February 2002. **Deep-Sea Research Part I**, v. 52, 647-667.
- Gonzalez-Silveira, A., Santamaria-del-Angel E., Garcia, V.M.T., Garcia, C.A.E., Millán-Nuñez, R., Muller-Karger, F. 2004. Biogeographical regions of the tropical and subtropical Atlantic Ocean off South America: classification base don pigment (CZCS) and chlorophyll-a (SeaWiFS) variability. **Continetal Shelf Research**, v. 24 (9), 983-1000.
- Hobday, A.J., Young J.W., Moeseneder C., Dambacher J.M. 2011. Defining dynamic pelagic habitats in oceanic waters off eastern Australia. **Deep-Sea Research II**, v. 58, 734-745.
- Longhurst, A., Sathyendranath, S., Platt, T., Caverhill, C., 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. **Journal of Plankton Research**, v. 17, 1245–1271.
- Matano, R.P., Palma, E.D., Piola, A.R. 2010. The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the Southwestern Atlantic Shelf circulation. **Ocean Science**, v. 6, 983-995.
- Molleri, G.S.F., Novo, E.M.L., Kampel, M. 2010. Space-time variability of the Amazon River plume based on satellite ocean color. **Continental Shelf Research**, v. 30, 342-352.
- Mittelstaedt, E.1991. The ocean boundary along the northwest African coast: circulation and oceanographic properties at the sea surface. **Prog. Oceanogr.**, v. 26, 307-355.
- Platt, T., Sathyendranath, S. Spatial structure of pelagic ecosystem process in the global ocean. 1999. **Ecosystems**, v. 2 (5), 384-394.
- Pottier, C., Garçon V., Larnicol G., Sudre J., Schaeffer P., Le Traon P.Y. Merging SeaWiFS and MODIS/Aqua Ocean Color Data in North and Equatorial Atlantic Using Weighted Averaging and Objective Analysis. 2006. **IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing**, v. 44(11), 3436-3451.
- Schowengerdt, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. London: Academic Press, 1997.
- Stramma, L., Schott, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. 1999. **Deep-Sea Research Part II**. v. 46, 279-303.
- Waliser, D.E., Gautier, C. 1993. A Satellite-derived climatology of the ITCZ. **Journal of Climate**. v. 6, 2162-2174.