

Análise por componentes principais da variabilidade do coeficiente de absorção pela matéria orgânica dissolvida e detritos estimado por satélite na Foz do Rio Amazonas

Renata Fernandes Figueira Nascimento¹

Milton Kampel¹

Gustavo Souto Fontes Moller¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{renata, milton, moller}@dsr.inpe.br

Abstract. A principal component analysis was used to characterize the variability of gelbstoff and detritus absorption coefficient at 443 nm, in the Northern Brazilian Continental Shelf region under the influence of the Amazon River (20°N - 5°S; 59°W - 40°W), from September 1997 to September 2007. The study was based on monthly composition, 9km x 9km, Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) data. The first three principal components accounted for 62.3% of the total variance. The annual and semi-annual cycles could be inferred from the eigenvectors plots. The Amazon River plume and, consequently, the discharged material are influenced by diverse environmental variables whose effects occur over different spatial and temporal scales.

Palavras-chave: ocean color remote sensing, principal components analysis, Amazone river mouth, sensoriamento remoto da cor do oceano, análise por componentes principais, Foz do Rio Amazonas.

1. Introdução

O fluxo de energia radiante que atravessa a interface ar/água está sujeito a dois processos básicos: absorção e espalhamento. Neste trabalho só será tratado o de absorção, quantificado por meio do coeficiente de absorção, que juntamente com o coeficiente de espalhamento, é conhecido como propriedade óptica inerente. Essas propriedades não são dependentes de modificações no campo de luz, ou seja, independem de variações na distribuição angular do campo de luz incidente, sendo determinadas somente pelo tipo e pela concentração das substâncias presentes no meio (Preisendorfer, 1976; Novo 2001).

O valor atribuído aos coeficientes de absorção e espalhamento depende, exclusivamente, da concentração e composição de substâncias presentes no corpo d'água, chamadas de constituintes opticamente ativos. São eles: organismos vivos (plâncton), material em suspensão, de origem inorgânica (Mobley, 1984) e substâncias orgânicas dissolvidas (IOCCG, 2000; Gordon e Morel, 1983).

Um dos componentes responsáveis pelo aumento do coeficiente de absorção da água nos menores comprimentos de onda do espectro eletro-magnético é a presença de matéria orgânica dissolvida "colorida", que se constitui de um conjunto de substâncias provenientes da excreção, secreção e de processos intermediários da decomposição de organismos terrestres e aquáticos (Morel e Prieur, 1977; Mantovani e Novo, 1996).

O coeficiente de absorção aqui estudado será o da matéria orgânica dissolvida e detritos, analisado através de séries temporais de dados orbitais da cor do oceano. Uma série temporal fornece informação útil sobre o sistema físico, biológico, ou socioeconômico que a produziu. O objetivo da análise de séries temporais é determinar algumas propriedades importantes do sistema em questão, quantificando determinadas características da série temporal. Essas propriedades podem ajudar a entender e prever comportamentos futuros do sistema (Ghil et al., 2002).

A área de estudo compreende parte da costa norte brasileira, onde se localiza a foz do Rio Amazonas no Oceano Atlântico Tropical Ocidental (Figura 1). De acordo com Moller (2008) a alta variabilidade espacial e temporal da pluma do Rio Amazonas e, conseqüentemente, do material orgânico e inorgânico descarregado, é o resultado da influência de diversas variáveis ambientais que se sobrepõem e atuam em diferentes escalas espaciais e temporais.

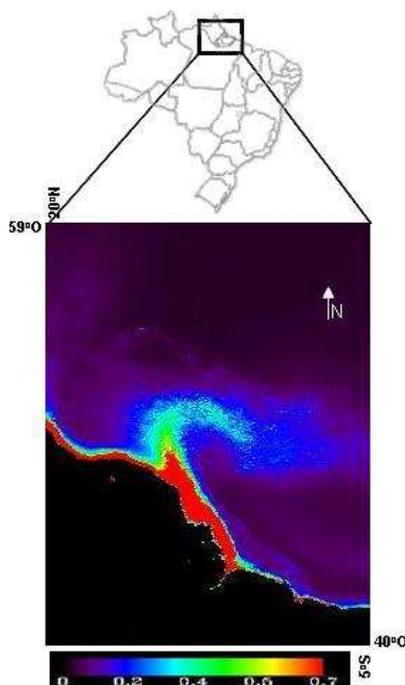


Figura 1. Imagem média climatológica (1997-2007) do coeficiente de absorção pela matéria orgânica dissolvida e detritos estimado a partir de dados SeaWiFS referente ao mês de setembro ilustrando a área de estudo.

Diversos estudos demonstram que o material inorgânico particulado e o orgânico dissolvido apresentam assinaturas espectrais características em corpos de água com grandes concentrações destes componentes (Chen et al., 1992; Curran e Novo, 1988; Prieur e Sathyendranath, 1981; Thomas e Weatherbee, 2006; Warrick et al., 2004). Um grande número de trabalhos demonstrou que existe uma correlação negativa entre a salinidade e a matéria orgânica dissolvida e detritos (Binding e Bowers, 2003; Bowers et al., 2004; Hu et al., 2004; Mantoura e Woodward, 1983; Vecchio e Subramaniam, 2004; Molleri, 2008), pois o principal responsável pela entrada de matéria orgânica dissolvida e detritos na região costeira oceânica é o aporte continental. Este aporte continental, principalmente de rios, apresenta salinidade menor que as águas oceânicas adjacentes.

A descarga de água e materiais dissolvidos e particulados (MDP) do Rio Amazonas está entre as maiores do planeta. Devido à grande área da bacia, a variabilidade interanual da descarga de água e de MDP é pequena. Entretanto, a variabilidade sazonal é grande. Como medidas de salinidade não são atualmente obtidas por satélites, procurou-se neste trabalho verificar a variabilidade do coeficiente de absorção na foz do Rio Amazonas, através da análise de uma série temporal compreendida no período de setembro de 1997 a setembro de 2007, para o seu mapeamento.

2. Metodologia

Os dados utilizados neste trabalho foram adquiridos através da ferramenta online de visualização e análise de dados Giovanni (<http://reason.gsfc.nasa.gov/OPS/Giovanni/>), mantida pelo *Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC)*, que faz parte da Divisão Sistema Terra-Sol da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Um dos produtos ópticos mensais desse banco de dados é o coeficiente combinado de absorção da matéria orgânica dissolvida e detritos (a_{dg}), gerado pelo modelo semi-analítico GSM01 (Maritorena et al., 2002), em 443 nm. Esse produto é derivado de dados de radiância coletados pelo sensor *Sea-viewing Wide Field Sensor (SeaWiFS)*, e apresenta uma resolução espacial de 9 km e resolução temporal mensal. As contribuições para

a absorção total por detritos particulados e materiais dissolvidos são consideradas juntas, pois apresentam comportamento espectral semelhante (Maritorena et al. 2002).

Os dados utilizados compreendem o período de setembro de 1997 a setembro de 2007, e foram recortados para a área de interesse limitada entre as latitudes 20°N - 5°S e as longitudes 59°O - 40° O (Figura 1). Posteriormente, foi realizada a análise por componentes principais para se analisar a variabilidade espacial e temporal dos campos superficiais do coeficiente de absorção como identificador da assinatura da pluma.

A Análise por Componentes Principais (ACP) é uma técnica de estatística multivariada muito útil na investigação de relações existentes entre um conjunto de variáveis correlacionadas. Através da ACP, pode-se transformar um conjunto de dados, inicialmente correlacionados em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas. O novo conjunto é obtido através de combinações lineares das variáveis originais, de tal forma que a maior parte das informações se concentra nas primeiras componentes. Uma das características da ACP é diminuir o número de variáveis correlacionadas em um determinado conjunto de dados, preservando a sua variância total. Isto permite identificar os padrões e processos físicos associados às variáveis observadas, possibilitando a interpretação dos dados num contexto que envolve a sua variabilidade espacial/temporal (Gurgel, 2000).

3. Resultados e Discussão

A climatologia gerada com o uso dos dados de coeficiente de absorção (Figura 2), demonstrando a forte influência da Corrente Norte do Brasil na área de estudo e o padrão de sua retroflexão sazonal, principalmente nos meses de agosto a setembro.

A Plataforma Continental Amazônica (PCA) é uma feição que se destaca na plataforma continental brasileira, e é influenciada por diversas variáveis ambientais. É nesta plataforma que as águas do Rio Amazonas deságuam e a maior parte dos sedimentos descarregados é depositada. A principal corrente oceânica que atua na PCA e, conseqüentemente, no transporte dos materiais descarregados pelo Rio Amazonas para a direção noroeste (NO) é a Corrente Norte do Brasil (CNB) (Geyer et al., 1996).

A CNB apresenta uma grande variabilidade sazonal, com um máximo de transporte na primavera, quando esta apresenta larguras extensas e alcança grandes profundidades, e mínimo no outono, quando se caracteriza como um fluxo raso e costeiro fazendo com que a maior parte do transporte ocorra na plataforma continental brasileira (Johns et al., 1998).

Além da influência das correntes, a pluma do Rio Amazonas também sofre grande influência dos ventos, que alteram a sua forma, velocidade e direção de transporte dos materiais descarregados pelo Rio Amazonas (Lentz, 1995a, 1995b).

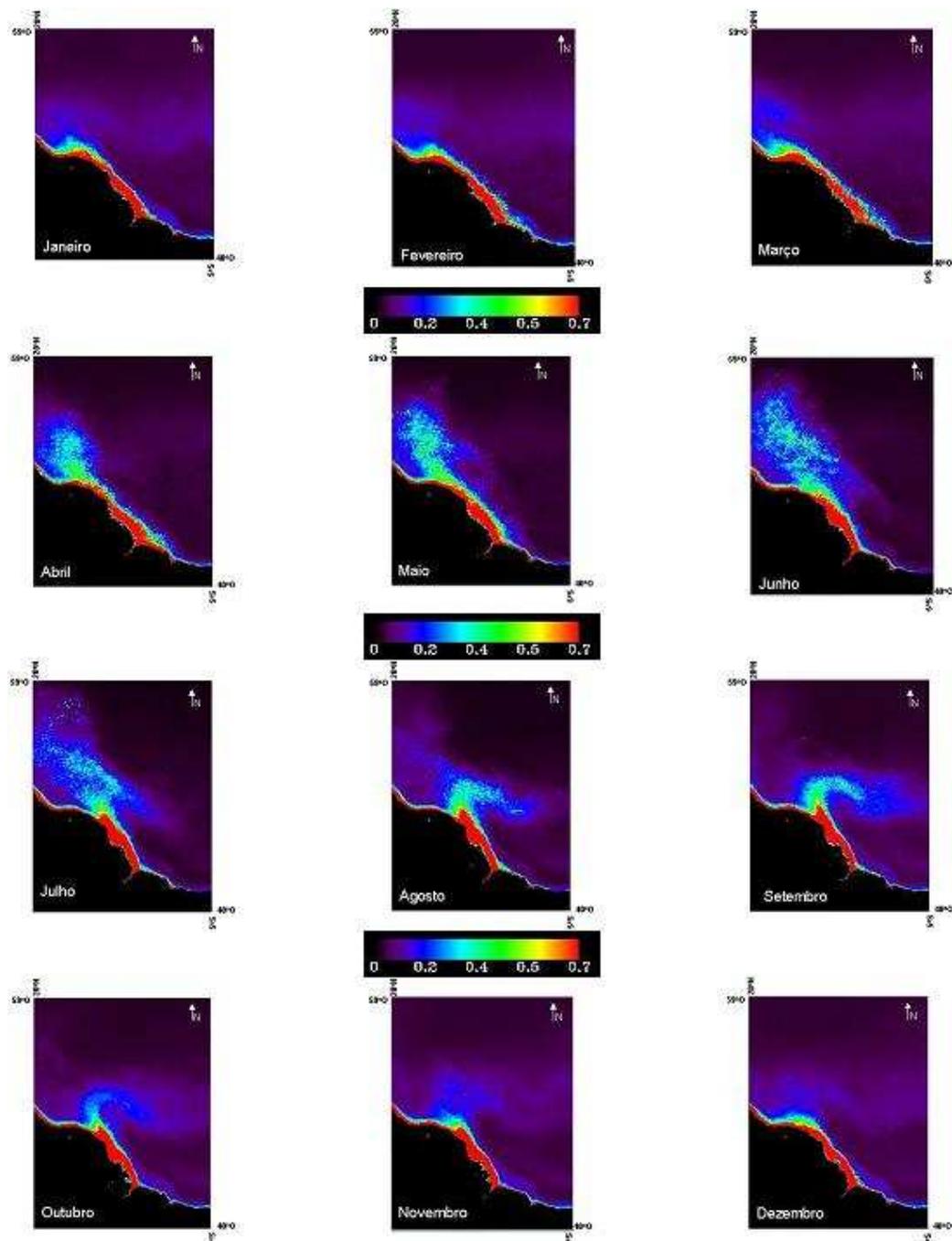


Figura 2. Série climatológica do coeficiente de absorção a_{dg} na foz do Rio Amazonas, no período de setembro de 1997 a setembro de 2007.

A interpretação dos resultados da Análise por Componentes Principais (ACP), realizada no conjunto de dados é baseada na análise das imagens das componentes e nas séries temporais de autovetores. Estes gráficos ilustram o peso de cada uma das 121 imagens na obtenção de cada imagem componente (coeficientes de cada componente principal).

A primeira componente do conjunto de dados de a_{dg} (Figura 3) mostra o comportamento médio dessa variável durante o período considerado. Na Figura 3, pode-se observar que a pluma apresenta um forte padrão de dispersão para a região nordeste da América do Sul e para o Caribe. É possível identificar, também, com uma menor intensidade, um padrão de dispersão para a região do Oceano Atlântico Equatorial. O gráfico de autovetores dessa

componente (Figura 4) mostra a variação anual dessa variável. Esta componente explica 55,38% da variância total (Tabela 1).

As variações anuais nas descargas do Rio Amazonas são relativamente pequenas, excluindo-se os anos em que ocorrem influências de fenômenos atmosféricos-oceânicos globais como o *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) e o *Southern Oscillation Index* (SOI) (Fisch et al., 1996; Foley et al., 2002; Labat et al., 2005).

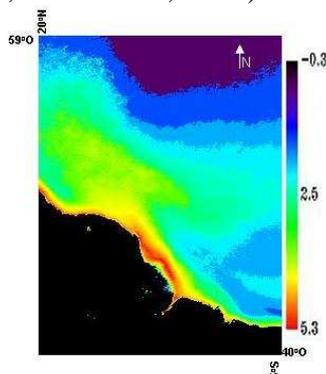


Figura 3. Primeiro modo espacial da Análise por Componentes Principais aplicada à série temporal de coeficientes de absorção pela matéria orgânica mais detritos obtida por satélite.

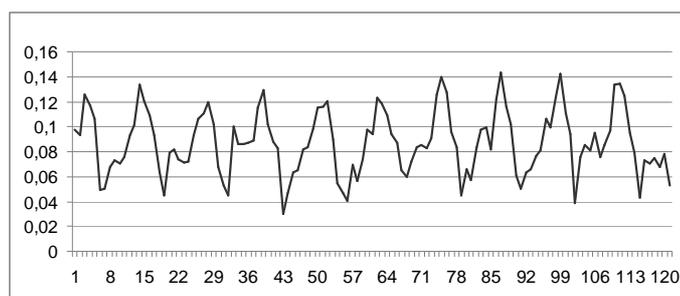


Figura 4. Série temporal de autovetores referentes ao primeiro modo espacial da análise de componentes principais.

O segundo e terceiro modos espaciais obtidos pela análise de componentes principais são apresentados nas Figuras 5 e 7, respectivamente. As respectivas séries temporais de autovetores (Figuras 6 e 8) permitem identificar, ainda que de forma qualitativa, a variabilidade temporal em escala semi-anual. Esta frequência semi-anual pode ser causada pelos elevados valores de temperatura do ar e precipitação, devido à localização equatorial da bacia Amazônica e sua grande área. O período de chuvas ou de forte convecção na região Amazônica é compreendido de Novembro a Março, sendo que o período de seca, com pequena atividade convectiva, ocorre entre os meses de Maio e Setembro. Os meses de Abril a Outubro são caracterizados como meses de transição entre um regime e outro (Fisch et al., 1996).

Mollerli (2008) identificou períodos anuais e semestrais a partir de análises dos espectros de wavelet das séries temporais das métricas e das variáveis hidrológicas, meteorológicas e oceanográficas na área de estudo. Estes espectros apresentaram, a partir do ano de 2002, variações nas energias referentes a cada série, associadas à transição de um período de influência de fenômeno global de interação oceano-atmosfera *La Niña* para um período de influência do fenômeno *El Niño*. Ainda segundo Mollerli (2008) a análise da série temporal de vazão na foz do Rio Amazonas permitiu identificar que os maiores valores de vazão encontram-se nos meses entre março e agosto e os menores entre setembro a fevereiro, concordando com a literatura existente.

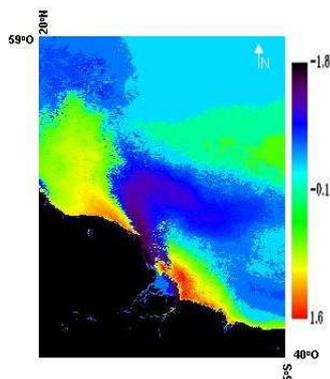


Figura 5. Segundo modo espacial da Análise por Componentes Principais aplicada à série temporal de coeficientes de absorção pela matéria orgânica mais detritos obtida por satélite.

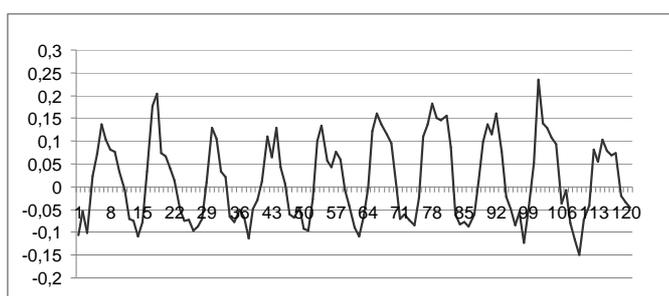


Figura 6. Série temporal de autovetores referentes ao segundo modo espacial da análise de componentes principais.

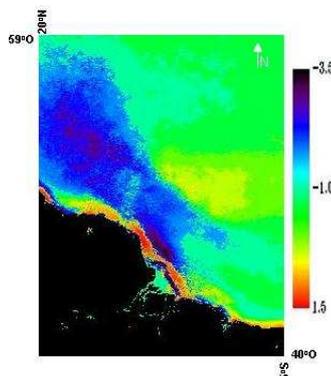


Figura 7. Terceiro modo espacial da Análise por Componentes Principais aplicada à série temporal de coeficientes de absorção pela matéria orgânica mais detritos obtida por satélite.

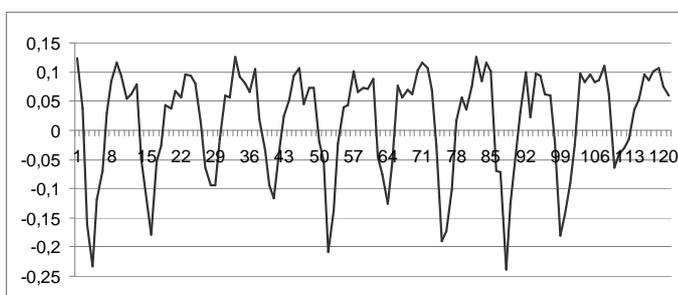


Figura 8. Série temporal de autovetores referentes ao terceiro modo espacial da análise de componentes principais

A segunda e a terceira componentes explicam, aproximadamente, 7% da variância percentagens da variância total do conjunto de dados conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Porcentagens da variância explicada pelas três primeiras componentes principais.

Componentes principais	%	% cumulativa
1	55,38	55,38
2	4,33	59,71
3	2,55	62,26

4. Conclusões

A análise da série temporal dos coeficientes de absorção da matéria orgânica dissolvida e detritos estimados por satélite na foz do Rio Amazonas, no período de setembro de 1997 a setembro de 2007, foi realizada por meio da aplicação da análise por componentes principais. Foram identificadas variabilidades com períodos anuais e semi-anuais.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Cnpq

Referências Bibliográficas

- Binding, C. E.; Bowers, D. G. Measuring the salinity of the Clyde Sea from remotely sensed ocean colour. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 57, n. 4, p. 605–611, 2003.
- Bowers, D. G.; Evans, D.; Thomas, D. N.; Ellis, K.; Williams, P. J. L. B. Interpreting the color of an estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 59, n. 1, p. 13-20, 2004.
- Chen, Z.; Curran, P. J.; Hansom, J. D. Derivative reflectance spectroscopy to estimate suspended sediment concentration. **Remote Sensing of Environment**, v. 40, n. 1, p. 67-77, 1992.
- Curran, P. J.; Novo, E. M. M. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. **Journal of Coastal Research**, v. 4, n. 3, p. 351-368, 1988.
- Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. Clima da Amazônia. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Especial 10 anos, 1996. (INPE-11888-PRE/7235). Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/fish.html>>. Acesso em: 07 set. 2008.
- Foley, J. A.; Botta, A. L.; Coe, M. T.; Costa, M. H. El Niño–Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 16, n. 4, p. 1-17, 2002.
- Geyer, W. R.; Beardsley, R. C.; Lentz, S. J.; Candela, J.; Limeburner, R.; Johns, W. E.; Castro, B. M.; Soares, I. D. Physical oceanography of the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 5-6, p. 575-616, 1996.
- Ghil, M. Allen, M. R.; Dettinger, M. D.; Ide, K.; Kondrashov, D.; Mann, M. E.; Robertson, A. W.; Saunders, A.; Tian, Y.; Varadi, F.; Yiou, P. Advanced Spectral Methods for Climate Time Series. **Reviews of Geophysics**, v.40, n. 1, p.1-41. 2002.
- Gordon, H. R.; Morel, A. Remote assessment of ocean colour for interpretation of satellite visible imagery: a review. In: Lecture notes on Coastal and estuarine Studies. New York: Springer-Verlag, 1983.
- Gurgel, H. C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. 2000. 118p. – (INPE-9655-TDI/848). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.

Hu, C.; Montgomery, E. T.; Schmitt, R. W.; Muller-Karger, F. E. The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: observation from space and S-PALACE floats. **Deep-Sea Research II**, v. 51, n. 10-11, p. 1151–1171, 2004.

IOCCG. Remote sensing of ocean colour in coastal, and other optically-complex waters. In: Sathyendranath, S.; Stuart, V. (Orgs.) **Reports of the International Ocean Colour Coordinatting Group**. Dartmouth: IOCCG, 2000.

Johns, W. E.; Lee, T. N.; Beardsley, R. C.; Candela, J.; Limeburner, R.; Castro, B. Annual Cycle and Variability of the North Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, v. 28, n. 1, p. 103–128, 1998.

Lentz, S. J. The Amazon River plume during AmasSeds: subtidal current variability and the importance of wind forcing. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2377-2390, 1995a.

Lentz, S. J. Seasonal variations in the horizontal structure of the Amazon Plume inferred from historical hydrographic data. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C2, p. 2391-2400, 1995b.

Mantoura, R. F. C.; Woodward, E. M. S. Conservative behaviour of riverine dissolved organic carbon in the Severn Estuary: chemical and geochemical implications **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 47, n. 7, p. 1293-1309, 1983.

Mantovani, J. E.; NOVO, E. M. L. M. Comportamento Espectral da Matéria Orgânica Dissolvida. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8., 1996, Salvador. **Anais...São José dos Campos: INPE**, 1996. Artigos, p. 917-923. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00014-5. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.01.09.35/doc/T144.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2008.

Maritorena, S. P.; Siegel, D. A.; Peterson, A. R. Optimization of a semi analytical ocean color model for global-scale applications. **Applied Optics**, v. 41, n. 15, p. 2705-2714, 2002.

Mobley, C. D. **Light and water: radiative transfer in natural waters**. San Diego: Academic Press, 1984.

Morel, A.; Prieur, L. Analysis of variations in ocean color. **Limnology and Oceanography**, [S.I.], v. 22, p. 709-722, 1977.

Moller, G. S. F. **Aplicação de dados de Sensores Remotos Orbitais no Estudo da Variabilidade Espacial e Temporal da Pluma do Rio Amazonas no Período de 2000 a 2004**. 2008. 157p. (INPE-15256-TDI/1341). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008.

Novo, E. M. L. M. Comportamento Espectral da Água. In: Meneses, P. R.; Netto, J. S. M. (Org.). **Sensoriamento Remoto – Reflectância dos Alvos Naturais**. Bursília: Editora UnB, 2001, p. 203-222.

Preisendorfer, R. W. **Hydrologic optics, v. I, Introduction**. Honolulu: Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Research Laboratory, 1976.

Prieur, L.; Sathyendranath, S. An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter, and other particulate materials. **Limnology and Oceanography**, v. 26, n. 4, p. 671-689, 1981.

Thomas, A. C.; Weatherbee, R. A. Satellite-measured temporal variability of the Columbia River plume. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, n. 2, p. 167–178, 2006.

Vecchio, R. D.; Subramaniam, A. Influence of the Amazon River on the surface optical properties of the western tropical North Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. C11001, p. 1-13, 2004.

Warrick, J. A.; Mertes, L. A. K.; Siegel, D. A.; Mackenzie, C. Estimating suspended sediment concentrations in turbid coastal waters of the Santa Barbara Channel with SeaWiFS. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1995–2002, 2004.