

# Desenvolvimento de algoritmos empíricos para estimativa da concentração de material particulado em suspensão para o monitoramento ambiental da Plataforma Setentrional do Rio Grande do Norte

Anderson Targino da Silva Ferreira<sup>1</sup>  
Venerando Eustáquio Amaro<sup>1</sup>  
Milton Kampel<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN  
Programa de Pesquisa e Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica - PPGG  
Campus Universitário. Caixa Postal 1584 - Natal - RN, Brasil  
{andersontargino, amaro}@geologia.ufrn.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
milton@dsr.inpe.br

**Abstract.** This work has as main objective the formulation of an empirical algorithm to estimate total suspended matter (TSM) in the Northern part of the Rio Grande do Norte continental shelf, Brazil. This algorithm is based on a linear regression between MODIS-AQUA normalized water-leaving radiance at 551nm (nLw\_551) and *in situ* total suspended matter concentration. *In situ* TSM were also compared with estimates obtained with the application of an existing remote sensing semi-analytical algorithm proposed by Carder (2004). After the implementation of the models, it was seen that the correlation method derived polynomial proved to be much more satisfactory than the method of linear and semi-analytical model of Carder, because the differences between the average values in relation to traffic TSM *in situ* were: 0,035 mg / L for polynomial model of 4th degree; 0,275 mg / L for the linear model and 1,551 mg / L for semi-analytical model of Carder. This shows that the use of a global model can lead to inaccurate interpretations, is necessary to develop regional models.

**Palavras-chave:** ocean color remote sensing, total suspended matter concentration, oceanography, environmental geology, sensoriamento remoto da cor do oceano, concentração do material particulado em suspensão, oceanografia, geologia ambiental.

## 1. Introdução

O sensoriamento remoto orbital tem sido utilizado como ferramenta vantajosa na melhoria do conhecimento sobre os aspectos hidrodinâmicos e oceanográficos na porção norte da plataforma continental do Estado do Rio Grande do Norte, região *offshore* da Bacia Potiguar (Vital et al. 2002, Lima et al. 2001 e Lima et al. 2003). Aspectos como a cobertura geográfica e resoluções temporal e espacial, somados a uma metodologia consistente e inovação tecnológica garantem uma substancial vantagem e economia em relação aos métodos tradicionais de coletas de dados *in situ*.

Em apoio às coletas sistemáticas referentes à campanha de caracterização e monitoramento ambiental da Bacia Potiguar, realizada em maio de 2004, foram obtidas imagens do sensor *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) instalado a bordo do satélite AQUA da NASA. Foram gerados valores de radiâncias normalizadas no comprimento de onda 551 nm (nLw\_551nm) e calculadas as concentrações do material particulado em suspensão (MPS). Este conjunto de dados foi utilizado para comparações estatísticas entre medidas *in situ* e estimativas por satélite buscando validar algoritmos globais ou desenvolver uma abordagem regional, mesmo que empírica.

### 1.1 Localização da área de trabalho

A área a ser estudada encontra-se na plataforma continental setentrional do Rio Grande do Norte. Trata-se da zona costeira adjacente aos Municípios da chamada Costa

Branca do RN, aproximadamente entre os paralelos 04,50°S e 05,15°S e os meridianos 36,00°W e 37,00°W, porção *offshore* da Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil.

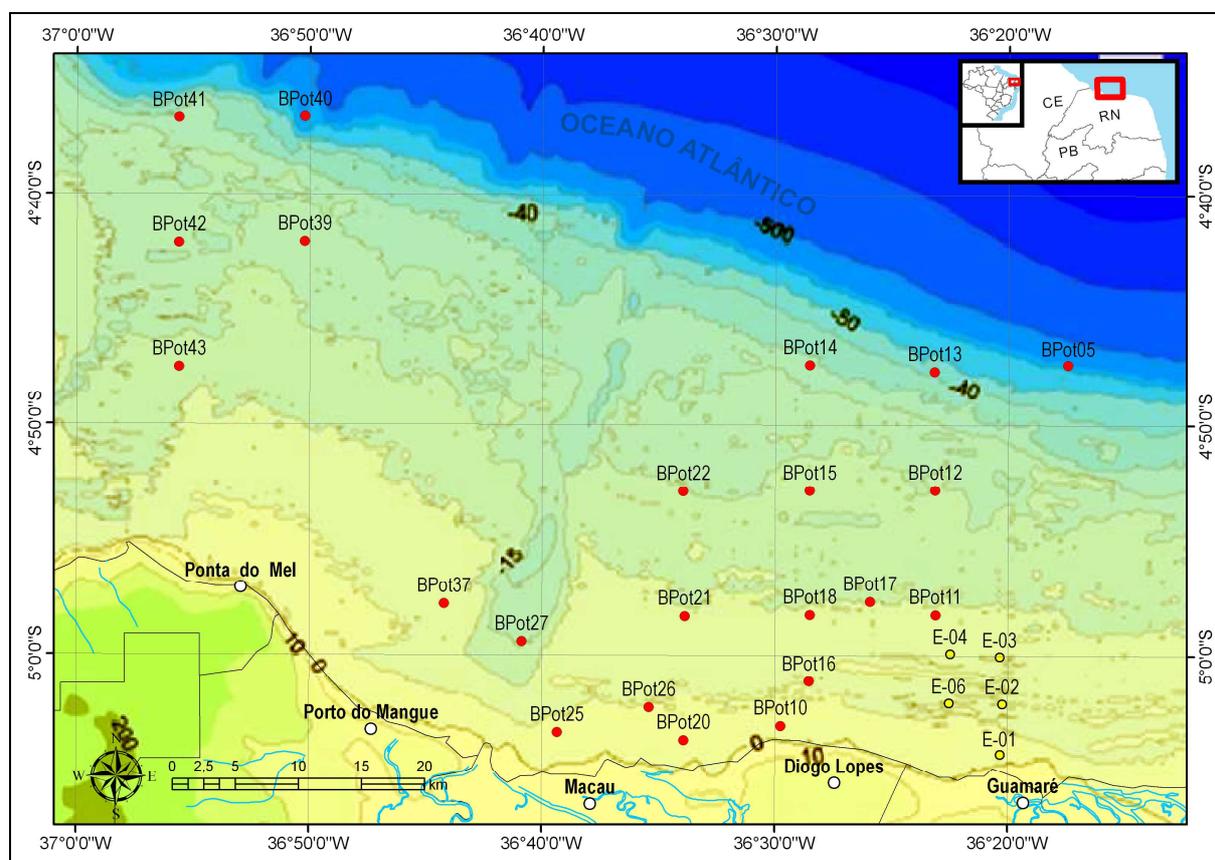


Figura 1. Mapa de localização da área de interesse e dos pontos de amostragem, integrada a carta topobatimétrica da porção setentrional do Estado do Rio Grande do Norte.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Medidas *in situ* e Tratamento das Amostras em Laboratório

Foram distribuídas 69 estações de amostragem em duas malhas amostrais distribuídas ao longo da plataforma continental adjacente aos municípios de Galinhos e Porto do Mangue, incluindo também a região de talude, sendo 43 na área adjacente a Plataforma Continental da Bacia Potiguar e 26 no entorno dos Emissários Submarinos do Pólo Industrial de Guararé. No entanto, em decorrência da indisponibilidade de imagens sem nuvens que coincidiram em data com os pontos amostrados, apenas 27 estações puderam ser consideradas, sendo 22 na área adjacente a Plataforma Continental e 5 no entorno dos Emissários Submarinos do Pólo Industrial de Guararé.

Em cada ponto de amostragem foram coletados 1,5 litros de água na superfície com o auxílio de uma garrafa tipo Van Dorn. As amostras foram acondicionadas em garrafas previamente lavadas com água destilada e mantidas a temperatura de 0°C em caixa de poliestireno expandido lacrada, da marca **Isopor**®.

As amostras de água coletadas foram filtradas em filtros de fibra de vidro Millipore (47 mm de diâmetro) previamente pesados em balança eletrônica de precisão (0,0001 g). Para a filtração foi utilizada uma bomba a vácuo. As amostras filtradas foram secadas na estufa a 55°C durante 20 horas e os filtros secos com amostra foram novamente pesados, após a estabilização da temperatura. Em seguida, os filtros foram levados a mufla para calcinação

durante 3 horas a uma temperatura de 550<sup>0</sup>C para queima da matéria orgânica. Posteriormente os filtros foram novamente pesados para cálculo da matéria orgânica. Cinco filtros brancos foram queimados para a correção do peso das cinzas (Araújo 2006).

Para a determinação do MPS retido nos filtros foi utilizada a seguinte equação CETESB (1978):

$$MPS = \frac{M_2 - M_1 \times 1000}{V} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde, MPS é a concentração do material particulado em suspensão (mg/l); M<sub>1</sub> é o peso inicial do filtro (g); M<sub>2</sub> é o peso do filtro após a filtragem (g) e V é o volume da amostra filtrada (L).

## 2.2 Sensoriamento Remoto

O sensor MODIS foi lançado em 04/05/2002 e encontra-se a bordo do satélite Terra (EOS AM-1) e Aqua (EOS PM) do EOS- NASA (*Earth Observing System, National Aeronautics and Space Administration*, Estados Unidos). O MODIS opera em 36 bandas espectrais na faixa de 0,4 a 14,4 μm (visível-infravermelho), para fornecer dados sobre a dinâmica da biosfera terrestre, com recobrimento global e contínuo a cada dois dias e resoluções espaciais variando de 250 a 1.000m e resolução radiométrica de 12 bits. O satélite AQUA está em órbita polar, heliossincrônica, a uma altitude nominal de 705 km, inclinação de 98,2° e uma faixa imageada de 2.330 km.

As imagens MODIS-Aqua foram adquiridas para o mesmo período de execução da campanha oceanográfica, onde os dados brutos foram calibrados radiometricamente para a geração dos valores de radiâncias normalizadas (cor do oceano) no comprimento de onda 551nm. Estes dados foram submetidos a algoritmos de correção atmosférica e em seguida gerado o cálculo de MPS, derivado de algoritmos empíricos e do algoritmo semi-analítico de Carder (Carder et al 2004).

Por definição, as águas do Caso 1 são aquelas nas quais o fitoplâncton, e todo o material de origem biológica covariante com ele, é o principal agente responsável por variações nas propriedades ópticas da água. Por outro lado, as águas do Caso 2 são identificadas não somente pelo fitoplâncton, mas também, por outras substâncias opticamente ativas, que variam independentemente, notadamente, as partículas inorgânicas em suspensão e as substâncias amarelas (Morel e Pireur, 1977; Gordon e Morel, 1983; Sathyendranath e Morel, 1983). Novo (2001), afirma ainda, que partículas inorgânicas originadas do intemperismo das rochas e solos geralmente são as que mais afetam as propriedades ópticas da água como no exemplo da Figura 2:

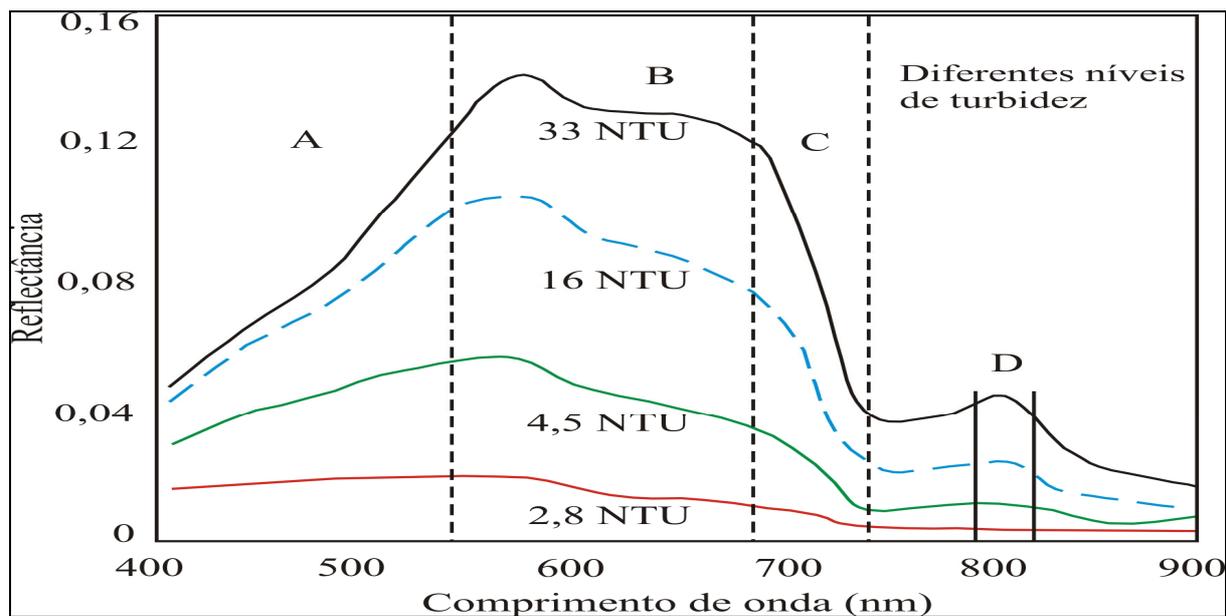


Figura 2. Curvas espectrais da água para diferentes níveis de turbidez. NTU - Unidade de Turbidez Nefelométrica. Adaptado de Goodin *et al*, (1993).

Teoricamente para o estudo do material particulado em suspensão, é recomendado o uso da reflectância próximo ao vermelho (Novo et al, 1989). No entanto, testes realizados em laboratório para MPS derivado de frações siltosas avermelhadas, foi verificado altas correlações ( $r \sim 0,98$ ) para comprimentos de ondas no verde (Novo et al, 1989).

Sendo assim, sedimentos deste tipo podem afetar com maior intensidade a resposta espectral, o que explica a boa correlação com de valores de radiâncias normalizadas em 551nm. Ainda, o fato de os maiores valores de reflectância de MPS na água estarem melhor representadas em torno de 551nm, e em uma razão direta com os diferentes níveis de turbidez como mostra a Figura 2, justifica a sua utilização.

### 2.3 Análise Estatística

A associação entre medidas radiométricas e geofísicas é testada empiricamente por correlação com dados *in situ* simultâneos e coincidentes. Uma vez que se estabeleça uma correlação biunívoca entre elas, pode-se estimar a precisão da medida indireta. Esta metodologia se aplica ao desenvolvimento de algoritmos empíricos. Desta forma, correlações simples (linear) ou polinomial podem explicar boa parte dos dados e assim, gerar um modelo empírico para a região.

### 3. Resultados e Discussão

Esta etapa apresenta os resultados obtidos na da análise de qual o melhor método para se utilizar como modelo empírico na geração de um algoritmo regional para imagens de Material Particulado em Suspensão (MPS). Tendo em vista que o modelo semi-analítico de Carder (Carder et al 2004), não correspondeu de forma de maneira tão fiel aos dados coletados em campo, pois foram observadas as maiores diferenças entre as médias dos valores de MPS obtidos em campo com os obtidos pelo modelo nos mos pontos.

A Figura 3, mostra os dois métodos utilizados: correlação polinomial de 4º grau e linear, respectivamente. O modelo polinomial apresentou uma melhor correlação entre os dados de MPS *in situ* com os dados de radiância normalizada no comprimento de onda 551nm. Em ambos os gráficos, aparecem dois pontos que se encontram bem afastados da nuvem de

pontos principal onde em um primeiro momento, foi justificado como uma coleta de campo mal realizada ou mesmo um tratamento da amostra no laboratório irregular. No entanto, esses dois valores mais discrepantes correspondem aos pontos de coleta E01 e Bpot37, que estão localizados próximos a áreas de estuário e ainda em águas bastante rasas como se pode visualizar na Figura 1, supracitada.

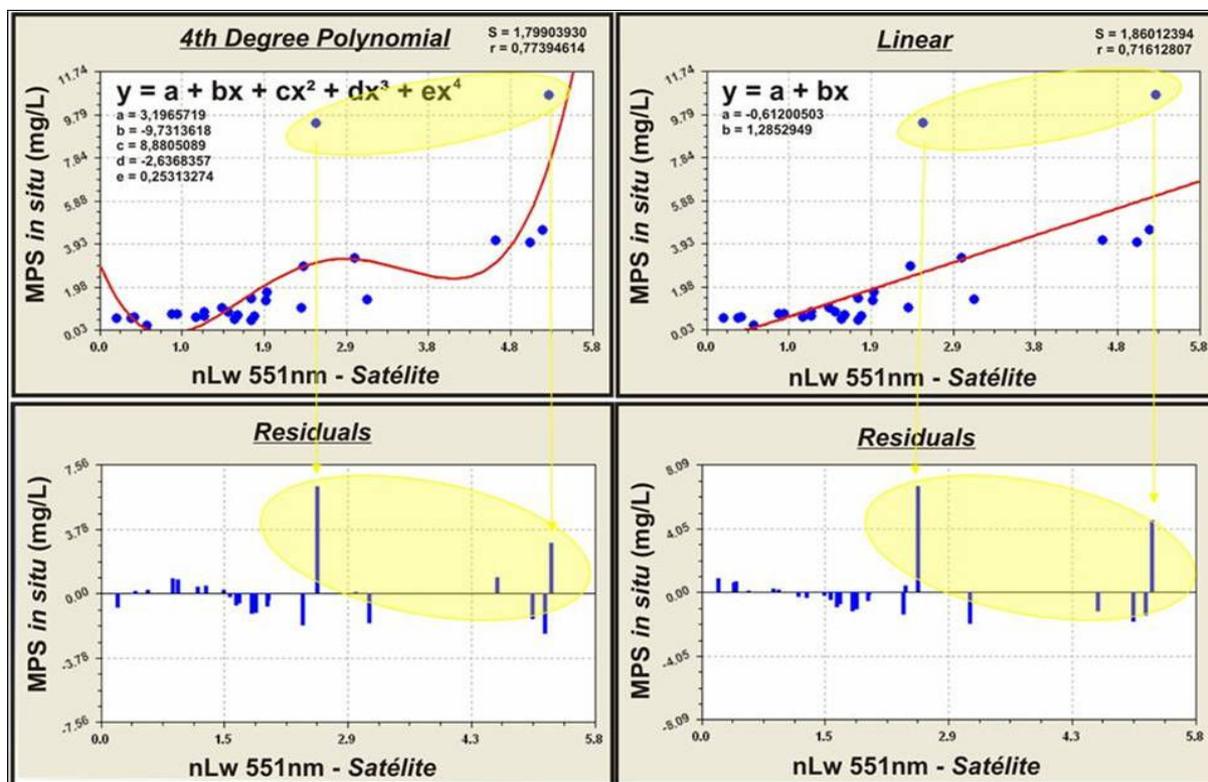


Figura 3. Análise estatística utilizando-se os métodos de correlação polinomial do 4º grau (acima à esquerda) e o gráfico de resíduo correspondente gerado (abaixo à esquerda); correlação linear (acima à direita) e o seu gráfico de resíduo correspondente (abaixo à direita).

Após a aplicação de ambos os modelos, foi verificado que a utilização do algoritmo derivado da correlação polinomial de 4º grau mostrou-se bem mais satisfatório que o método de correlação linear, tendo em vista que a diferença entre as médias dos valores de MPS (mg/L) *in situ* e de MPS (mg/L) derivado do método polinomial de 4º grau foi de 0,035. Enquanto que, entre os valores de MPS (mg/L) *in situ* e de MPS (mg/L) derivado do método de correlação linear, foi de 0,275. Na utilização do algoritmo derivado do modelo semi-analítico de Carder, os valores entre estes e os dados de campo, foram os que obtiveram as maiores diferenças, em termos de aproximação com o dado obtido em campo, chegando a valores de 1,551 mg/L, em relação ao valor médio das medidas de campo e do método utilizado.

Na Figura 4 abaixo, é mostrado um gráfico que evidencia de forma coesa, a concordância constante entre a variação da radiância em 551nm, medida pelo sensor, com as demais curvas de MPS dos dados coletados em campo, com os modelos testados empiricamente. Enquanto que o modelo semi-analítico de Carder não se mostra muito bem correlacionado.

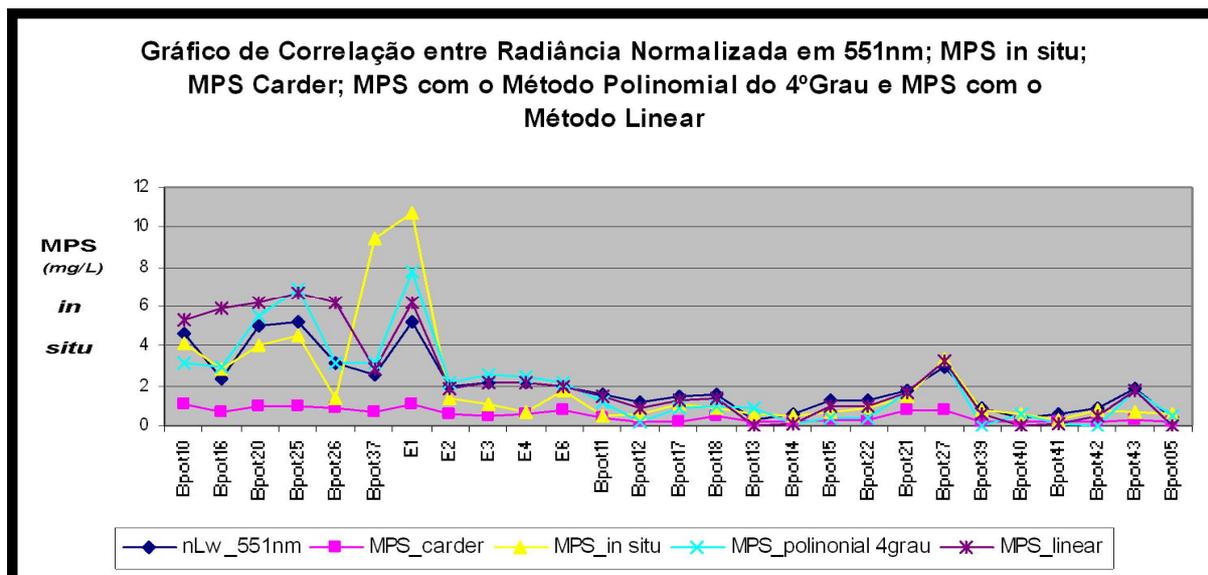


Figura 4. Gráfico de correlação entre a radiância normalizada em 551nm, medida pelo sensor; MPS (mg/L) algoritmo de Carder; MPS (mg/L) *in situ*; MPS (mg/L) pelo método do polinômio de 4ºgrau e MPS (mg/L) com o método de correlação linear.

Sendo assim, fica evidente que um modelo global, como o de Carder, não pode ser totalmente considerado e implementado, devido ao fato que podem levar a interpretações errôneas ou mesmo imprecisas. Fazendo-se então bastante interessante o desenvolvimento de novas metodologias voltadas para o desenvolvimento de algoritmos regionais de forma que levem em consideração características que dizem respeito somente aquela região como constituintes geológicos, geomorfológicos e hidrodinâmicos.

#### 4. Referências

- Araújo, A.B. **Análise e caracterização da dinâmica da foz do rio apodi/rn com base na cartografia temática multitemporal de produtos de sensores remotos**. 2006. 159p. (nº52/PPGG) Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – UFRN, Natal, 2006.
- Carder, K. L.; Chen, F. R.; Cannizzaro, J. P.; Campbell, J. W.; Mitchell, B. G. Performance of the MODIS semi-analytical ocean color algorithm for chlorophyll-a. **Advances in Space Research**, v. 33, n.7, p. 1152-1159, 2004.
- CETESB, 1978. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental Análises físicoquímicas de águas. **Normatização técnica de saneamento ambiental NT**. (5 p. L5.148) São Paulo - SP.
- Goodin, D. G.; Han, L.; Fraser, R. N.; Rundquist, C.; Stebbins, W. A.; Schalles, J. F. 1993. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution derivative spectra. **Photogramm. Eng. Remote Sensing**. v. 59, n. 4, p. 505 - 510, Apr.
- Gordon, H.R.; Morel, A. **Remote assessment of ocean colour for interpretation of satellite visible imagery: a review**. New York, Springer-Verlag, 114p. 1983.
- 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 de Doutorado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003, 311 p.
- Mantovani, J. E. **Comportamento espectral da água: faixas espectrais de maior sensibilidade ao fitoplâncton na presença de matéria orgânica dissolvida e matéria orgânica particulada**. 1993. 119p. (INPE-5683-TDI/569). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, São José dos Campos, 1993.
- Lima, Z.M.C., Alves, A.L., Amaro, V.E. & Vital, H. Coastline evolution of the Galinhos spit (NE Brazil) using air photography and Landsat TM images. **Revista Pesquisas em Geociências**. (Ed.) UFRS-RS. 28, 497-507, 2001.
- Lima, Z.M.C.; Vital, H.; Tabosa, W.F. Morphodynamic variability of the Galinhos spit, Northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 39, p. 525-529. 2003.
- NASA - Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Disponível em: <<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/browse.pl?sen=am>>. Acesso em : 05.set.2003.
- Morel, A.; Prieur, L. Analysis of variations in ocean color. **Limnol. Oceanogr.**, v.22.p. 709-722, 1977.
- Novo, E.M.M.; Hansom, J.D.; Carrant, P.J. The effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n.7, p. 1283-1289, 1989.
- Novo, E.M.L.M, 2001. Comportamento Espectral da Água. In: P.R. Menezes & J.S. Madeira-Netto (Org.). **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. Editora Universidade de Brasília e Embrapa Cerrados. 262 p.
- Sathyendranath, S.; Morel, A. Light emerging from the sea – interpretation and uses in remote sensing. In: A. P. e Cracknell (ed). **Remote sensing applications in marine science and technology**. Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, p.323-357, 1983.
- UNESCO. **Algorithms for computation of fundamental properties of seawater**. *Unesco Technical Papers in Marine Science* 44, 1983, 75 pp.
- Vital, H., Amaro, V.E., Tabosa, W.F., Guedes, I.M.G., Statterger, K., Caldas, L.H.O. Pattern of sediment distribution in tectonics setentrional coast of Rio Grande do Norte state, NE Brazil. In: Congresso de Ocean Sciences Meeting, vol. 83(4), 2002, Honolulu. **Anais...EUA: AGU EOS Transactions – American Geophysical Union**, 2002.