

Quantificação espacial de clorofila-a na água do mar utilizando dados do sensor TM/Landsat-5: região costeira de Ubatuba, SP.

M.P.F. Costa*
S.M.G. Galvão**
E.M.L.M. Novo*

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
São José dos Campos, SP, Brazil
maycira@ltd.inpe.br

**Instituto Oceanográfico (IOUSP)
São Paulo, SP, Brazil

Abstract. Estimates of chlorophyll-a concentration were performed in Ubatuba-SP coastal water using TM/Landsat images. Simultaneous acquisition of TM/Landsat data and water samples were obtained at two different days during 1991. The analysis of the "in situ" data set showed oligotrophic conditions during both campaigns. Radiometric and geometric correction of the satellite images were carried out. The digital number average of 3 by 3 windows of bands TM1, TM2 and TM3 at each sampling area were determined. These digital numbers and the sampled chlorophyll-a concentrations were statistically analyzed using the stepwise model. This method generated a statistically reliable model to estimate the concentration of chlorophyll-a in the surface of the water. The model explained 83% of the variation in the chlorophyll-a concentration in the water surface ($\text{Chl-a} = 0.060914 + 0.109172\text{TM2} + 0.214841\text{TM3}$).

Keywords: Remote Sensing, oceanography, chlorophyll-a

1. Introdução

O conhecimento sobre a distribuição do fitoplâncton em termos da concentração de clorofila-a em águas oceânicas é importante para os estudos de produção primária (Lunghrust e Harrison, 1989), para a determinação do papel dos oceanos nos ciclos biogeoquímicos (ciclo do carbono e outros) (Holligan et al., 1989; Deuser et al., 1990), poluição (Hardim, 1979), para os estudos de dinâmica dos oceanos e correntes costeiras (Tyler e Stumpf, 1989), entre outros.

A comunidade de oceanografia vem explorando a técnica de sensoriamento remoto como fonte desta informação tendo em vista a importância de estimativas de clorofila-a em águas oceânicas e as limitações das técnicas convencionais para a sua determinação espacial e temporal (Barale, 1991). Os dados de sensoriamento remoto fornecem informações com alta resolução espacial e temporal e também em larga escala, vindo a minimizar os problemas de amostragem convencional relativos à variação espacial e temporal de biomassa fitoplactônica (Perry, 1986). Contudo, esta informação é restrita à camada superficial da água (20 a 30% da zona eufótica) devido à forte atenuação da radiação eletromagnética (Platt e Sathyendranath, 1988; Morel e Bertho, 1989). Assim sendo, tanto o sensoriamento remoto como as técnicas oceanográficas convencionais para

estimativa de clorofila apresentam limitações. Portanto, a integração de dados oriundos destas duas diferentes técnicas vem a fornecer melhores estimativas da distribuição de clorofila na água.

A concentração de clorofila-a (Chl-a) na água é estimada a partir de sistemas sensores ópticos devido às propriedades de atenuação da radiação eletromagnética (REM) no visível pelos pigmentos fotossintéticos. Portanto, para se fazer uso de sensores remotos para estimativas de clorofila é importante o entendimento das características espectrais dos pigmentos e outros componentes ópticos da água (Kirk, 1986). Os pigmentos fitoplanctônicos absorvem parte da REM no visível. Esta absorção depende da concentração e do coeficiente de absorção específico do pigmento. Todas essas informações espectrais podem ser detectadas por sensores orbitais dependendo das características destes e das características da água.

Pesquisas enfocando o uso de sensoriamento remoto para estudos de caracterização espacial e temporal dos pigmentos fitoplanctônicos vem sendo realizadas desde os anos setenta com o início do programa Landsat (Sturm, 1980) e com o sensor CZCS (Costal Zone Color Scanner) (Gordon et al., 1983). O satélite Landsat 5 passou a ser usado, em menor escala, após o encerramento da recepção das imagens do CZCS em 1986, para estudo visando a estimativa da concentração de clorofila principalmente em águas costeiras e interiores (Tassan, 1987, 1988; Bacheri e Dios, 1990). Atualmente com a disponibilidade de dados do sensor SeaWifs (Sea Wide Field-of-viewing Sensor) os estudos de estimativa de clorofila oceânica estão sendo retomados. O SeaWIFS foi lançado em 1997 a bordo do satélite SeaStar, e apresenta características específicas para estudo dos constituintes ópticos da água (Hooker et al., 1992).

Como uma alternativa para suprir a falta de um sensor específico e também desenvolver tecnologia e capacitação na área de estimativa de concentração de clorofila na costa Brasileira usando dados de satélite, um projeto oceanográfico foi estabelecido objetivando o uso de dados do satélite Landsat 5 para caracterização espacial e temporal de clorofila-a na água do mar (Costa, 1993). Como parte deste projeto este trabalho objetivou estabelecer o potencial do uso de um sensor de baixa resolução espectral e radiométrica (TM/Landsat5) para estimar e mapear a concentração de clorofila-a na superfície da água.

2. Área de Estudo.

A área de estudo está localizada na região costeira de Ubatuba (23°35' S/45°07' O e 23°20' S/45°50' O), estendendo-se até à isobata de 40m. A estrutura vertical de temperatura e oxigênio sugere estratificação no verão, homogeneidade térmica no inverno, e condições oligotróficas ou mesotróficas durante o ano em função dos baixos níveis de nutrientes (Sassi e Kutner, 1982). De acordo com Miranda e Katsugawa (1991) esta região é influenciada pelas seguintes massas de água: Água Tropical (AT- alta

salinidade e temperatura e baixa concentração de nutrientes), Água Costeira (AC-baixa salinidade, alta temperatura e concentração de nutrientes variável), e Água Central do Atlântico Sul (ACAS- baixa temperatura e relativa alta concentração de nutrientes). A penetração da ACAS no verão propicia o aumento da concentração de fitoplâncton na água.

3. Metodologia

A metodologia deste trabalho envolve os seguintes passos: 1- coleta e análise de dados de campo e 2- aquisição e processamento dos dados digitais.

3.1- Coleta de dados de campo.

As coletas de dados de campo foram realizadas concomitante à passagem do satélite Landsat 5 em 23.04.91 e 25.05.91, consistindo de 14 e 24 pontos de coleta, respectivamente. A coleta de dados consistiu na determinação da temperatura e salinidade da água e coleta de água. As coletas foram realizadas dentro de um período de 4 horas antes e depois do horário de passagem do satélite. As amostras de água foram coletadas na superfície e na profundidade de desaparecimento do disco de Secchi. Perfis verticais de temperatura, salinidade, nutrientes e Chl-a foram realizados em pontos específicos para tentar identificar a presença de massas de água. A temperatura e a salinidade nos pontos de amostras foram determinadas com o auxílio de um termosalinômetro.

As amostras de água foram filtradas e mantidas a -20°C (filtro GF/F, 0,45 um) para determinação dos pigmentos fitoplanctônicos. O filtrado foi utilizado para a determinação de nutrientes (nitrito, nitrato, amônia, fosfato e silicato – Aminot e Chaussepied, 1983). Os filtros foram utilizados para a análise dos pigmentos de acordo com o método tricométrico para a determinação de Chl-a, Chl-b, Chl-c e carotenóides (Strickland e Parsons, 1968). Os pigmentos acessórios foram quantificados porque apresentam picos de absorção de radiação eletromagnética muito próximos da clorofila-a. O somatório da concentração de pigmentos (SPIG) foi calculado e analisado juntamente com os dados do satélite.

3.2. Aquisição e processamento dos dados digitais.

Duas imagens do satélite Landsat 5 (órbita 218/ponto 76) foram adquiridas simultaneamente à coleta de dados (maio-M91 e agosto-A91 de 1991). Uma terceira imagem (07/1988-J88) adquirida pelo satélite Landsat 5 foi utilizada para testar o modelo estatístico. Estas imagens foram adquiridas em Cachoeira Paulista, SP, e foram corrigidas de acordo com os dados de efemérides e atitude do satélite, e nos parâmetros do elipsóide de referência (D'Alge e Machado e Silva, 1986). Estas imagens foram submetidas aos seguintes tratamentos:

- i. Correção geométrica: a correção geométrica foi realizada com o auxílio de uma carta náutica (1:40000). O interpolador vizinho mais próximo foi empregado no processo de reamostragem. A correção geométrica resultou em um erro residual de 53, 19 e 41 metros para J88, A91 e M91, respectivamente.

- ii. Correção para reflectância no topo da atmosfera: nesta etapa foram consideradas as variações da distância Sol-Terra e o ângulo de zênite solar para cada época do ano, e os dados de ganho e “offset” referentes à cada banda.
- iii. Correção do efeito atmosférico: utilizou-se o modelo de objeto escuro proposto por Chavez (1988).
- iv. Aquisição dos valores de nível digital (ND): as coordenadas de latitude e longitude dos pontos de coleta foram localizadas nas imagens e o valor médio (janela de 3x3 pixels) de nível digital das bandas TM1 (0.45-0.52 μ m), TM2 (0.52-0.60 μ m) e TM3 (0.63-0.69 μ m) determinados.

4. Resultados e Discussão.

4.1. Caracterização das condições oceanográficas.

A análise dos dados oceanográficos retrata uma condição típica de ambiente não estratificado e oligotrófico durante o período de estudo. Portanto, a termoclina e a picnoclina não foram observadas (Costa, 1993). De acordo com o diagrama TS (temperatura-salinidade) determinou-se apenas a presença da massa de água Costeira (Miranda, 1985) no período de estudo. A tabela 1 resume os valores médios dos dados oceanográficos para as duas datas em estudo.

Tabela 1 – Valores médios para os dados oceanográficos.

Data	Chl-a(*) (mg/m ³)	ZChl-a (mg/m ³)	SPIG (mg/m ³)	Zs (m)	NO ₃ uM	NO ₂ uM	NH ₃ uM	PO ₄ uM	Si uM	T°C	S‰
04/91 (n=14)	1.17(0.83)	1.81(2.55)	2.09(2.34)	7.79(37 .57)	0.48	0.07	0.69	0.23	4.34	24.85	35.1
05/91 (n=24)	0.86(0.41)	1.08(0.3)	1.63(1.73)	13.4(40 .6)	0.27	0.03	0.22	0.26	4.25	23.04	35.0

Onde: Chl-a=concentração de clorofila-a na superfície.

ZChl-a = concentração de clorofila-a na profundidade Secchi.

SPIG= somatório da concentração de clorofila a,b,c e carotenóides em superfície.

Zs=profundidade de desaparecimento do disco de Secchi.

NO₃, NO₂, NH₃,PO₄,Si,T°C and S‰ são valores médios de todos os dados analisados.

(*)- valores de variância; n= pontos coletados.

As concentrações de clorofila são baixas para os dois períodos de coleta se comparadas às concentrações observadas durante a presença da ACAS (Zillmann, 1991), porém, aumentam em direção à costa (Costa, 1993). As baixas concentrações indicam

condições de baixa produtividade da região. O aumento da concentração próximo à costa pode estar relacionada ao maior aporte continental de nutrientes associados ao aporte fluvial.

As baixas concentrações de nutrientes sugerem condições de oligotrofia para as duas datas em estudo, anteriormente reportado por outros autores para a mesma época do ano (Zillmann, 1991). Os perfis verticais de nutrientes mostram uma estratificação na coluna de água para as duas datas, com concentrações maiores acima ou próximo da profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (Costa, 1993). As baixas concentrações médias de nitrogenados e de clorofila-a sugerem que a população fitoplanctônica está, provavelmente, limitada pelas condições oligotróficas. Núcleos de relativas altas concentrações de clorofila (4.33 mg/m^3) foram observados em sub-superfície (Costa, 1993). Isto sugere condições ótimas de quantidade de luz, temperatura e nutrientes disponíveis para a localização da camada máxima de Chl-a (Longhurst e Harrison, 1989).

De acordo com Perry (1986), a radiação detectada por um sensor corresponde àquela que interagiu com 20 a 30% da parte superior da zona eufótica. Portanto para se ter uma idéia da profundidade da coluna de água que contribui para os valores detectados pelo satélite é necessário estimar a profundidade da zona eufótica e conseqüentemente os 30% correspondente a esta profundidade. A partir dos dados de profundidade de desaparecimento do disco de Secchi (Zs) calculou-se a profundidade da zona eufótica (Zeu). A partir dos dados de Zeu, calculou-se os 30% desta profundidade, o qual representa a região onde estão os constituintes ópticos que o satélite detecta. Este cálculo mostrou que estas profundidades são sempre menores que a profundidade total, indicando que não há radiação eletromagnética retro-espalhada pelo fundo do mar. Também, as profundidades calculadas a partir de Zeu são próximas a Zs, o que indica que o sinal retro-espalhado pela coluna de água e coletado pelo sensor TM é influenciado pela concentração de clorofila na profundidade Zs.

4.2. Análise dos dados digitais.

Os valores médios de níveis digitais observados para as bandas 1 (TM1), 2 (TM2) e 3 (TM3) do satélite Landsat-5 são apresentados na tabela 2. Estes baixos valores são esperados devido à relativa baixa concentração de clorofila-a e os altos valores de profundidade Secchi (baixas concentrações de sólidos em suspensão). A análise estatística dos dados digitais (ND) mostrou alta colinearidade (coeficientes de correlação maior que 0.85) entre os níveis digitais das bandas TM1, TM2 e TM3, para as duas datas. Esta alta colinearidade diminui a sensibilidade das bandas TM em detectarem clorofila na água.

Tabela 2. Valores médios de níveis digitais.

Data	TM1	TM2	TM3
04/91	7(5.3*)	5.3(16.6*)	2.5(4.5*)
05/91	5.4(2.3*)	3.2(7.0*)	1.8(1.0*)

(*) valores de variância

As tabelas 3 e 4 reportam os valores de correlação obtidos entre as bandas TM1, TM2, TM3 e concentração de clorofila-a (Chl-a), somatório da concentração de pigmentos (SPIG), concentração de clorofila-a na profundidade Secchi (ZChl-a) e profundidade Secchi (Zs).

Tabela 3. Coeficientes de correlação (0.05 de significância) - 04/91.

	TM1	TM2	TM3
Chl-a	0.85	0.88	0.93
ZChl-a	0.14	0.16	0.19
SPIG	0.87	0.90	0.92
Zs	-0.95	-0.93	-0.81

Tabela 4. Coeficientes de correlação (0.05 de significância) - 05/91.

	TM1	TM2	TM3
Chl-a	0.84	0.92	0.86
ZChl-a	0.67	0.72	0.60
SPIG	0.83	0.92	0.88
Zs	-0.84	-0.86	-0.74

De uma forma geral os parâmetros oceanográficos apresentam correlação positiva e significativa com as bandas TM (Tabelas 3 e 4), exceto para profundidade Secchi (Zs), a qual é negativa. A correlação positiva observada para as bandas TM1 e TM2 pode ser atribuída ao fato destas bandas apresentarem uma maior sensibilidade espectral na parte verde do espectro (Markham e Barker, 1987). Portanto, as correlações positivas podem estar associadas à baixa absorção da radiação eletromagnética verde pelo fitoplâncton e à baixa sensibilidade do sensor TM em detectar baixas concentrações de clorofila. Alguns autores têm apresentado correlações negativas entre concentração de clorofila e a banda TM1 em regiões com concentrações relativamente mais altas de clorofila (Novo e Braga, 1991; Ekstrand, 1992). As correlações entre SPIG e TM1 e TM2 são semelhantes às correlações entre Chl-a e TM1 e TM2. Este resultado pode ser atribuído ao fato de que as concentrações de pigmentos acessórios são relativamente baixas quando comparados com as de Chl-a (observe na Tabela 1 que as concentrações de clorofila-a correspondem a mais de 50% das concentrações do somatório de todos os pigmentos), portanto, a

correlação observada seria preferencialmente resultante da interação da radiação com a clorofila-a.

A correlação positiva entre os níveis digitais da banda TM3 e concentração de clorofila e/ou outros pigmentos não era esperada. Considerando-se que na faixa do espectro eletromagnético de 0.63 a 0.69 μm (banda TM3) estão os picos de absorção secundário dos pigmentos clorofila a, b e c seria esperado uma correlação inversa. De acordo com Yentsch (1980) quando o espalhamento da radiação pelo fitoplâncton é considerado nas análises de reflectância, as feições de absorção na região vermelha do espectro não são bem definidas. Isto poderia justificar as correlações positivas observadas. Também, Mantovani (1992) apresentou resultados de laboratório mostrando um aumento do fator de reflectância próximo a 685nm para cultura de *Chlorella vulgaris*.

A profundidade Secchi (Z_s) apresentou correlação alta e negativa para todas as bandas TM. Estas correlações são mais altas para as bandas TM1 e TM2, o que pode ser explicado pelo alto coeficiente de transmissividade da radiação azul/verde. Consequentemente as bandas TM1 e TM2 são mais representativas da profundidade Secchi.

As correlações entre concentração de clorofila-a na profundidade Secchi ($Z_{\text{Chl-a}}$) e bandas TM mostraram duas situações diferentes quando comparados os resultados das duas datas. Para 04/91 nenhuma correlação foi significativa, já para 05/91 as correlações foram significativas e positivas para todas as bandas. Isto pode ser explicado pela maior profundidade Secchi determinada para 05/91 (13.44m), consequentemente maior transparência da água permitindo assim a detecção de clorofila naquela profundidade.

4.3. Análise de regressão – método stepwise.

A análise de regressão mostrou que a concentração de clorofila-a é um parâmetro altamente correlacionado com os níveis digitais das bandas TM1, TM2 e TM3. Tendo em vista este resultado, um modelo estatístico foi estabelecido utilizando os dados de concentração de clorofila-a e as bandas TM. Este modelo foi estabelecido através do método de regressão “stepwise”. Este método avalia a entrada de cada variável no modelo, verificando se sua contribuição é significativa ou não para o modelo. Para geração deste modelo foram incluídos todos os dados de concentração de clorofila-a e bandas TM para as duas datas de coleta. No modelo gerado as bandas TM2 e TM3 explicaram 83% das variações nas concentrações clorofila-a. A análise estatística do modelo demonstrou que o método de mínimos quadrados é adequado e gerou estimadores consistentes, isto é, não foi detectado autocorrelação entre os resíduos. O modelo gerado apresenta a seguinte forma:

$$\text{Chl-a} = 0.060914 + 0.109172 \text{ TM2} + 0.214841 \text{ TM3}$$

A implementação deste modelo possibilitou a geração de mapas de distribuição espacial de clorofila-a a partir de valores de níveis digitais das bandas TM para 04/91 (Figure 1), 05/91 (Figure 2) e 07/88 (Figure 3) . A distribuição espacial de clorofila-a observada retrata condições de baixas concentrações, representando o estado de oligotrofia na região durante as datas em estudo.

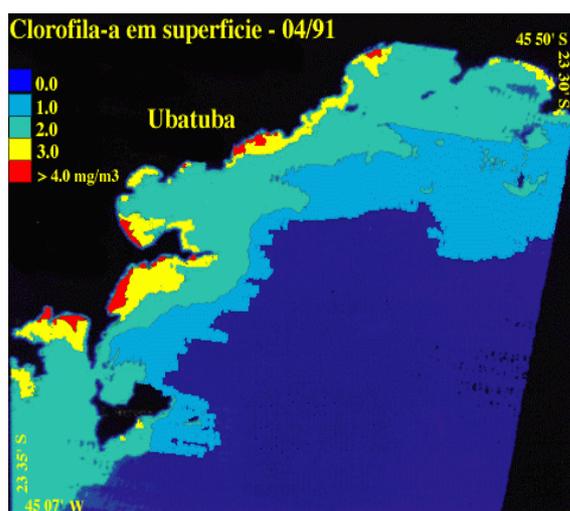


Figura 1. Distribuição de clorofila-a em superfície a partir de dados TM/Landsat-04/91.

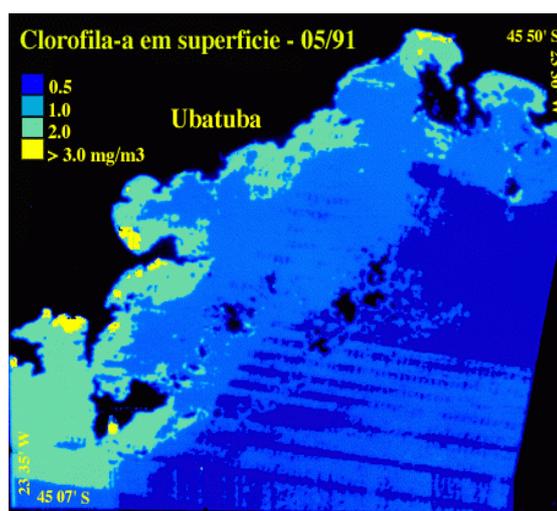


Figura 2. Distribuição de clorofila-a em superfície a partir de dados TM/Landsat-05/91.

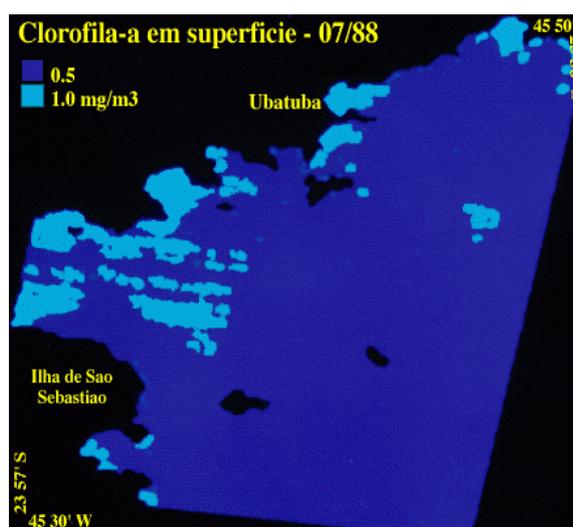


Figura 3. Distribuição de clorofila-a em

superfície a partir de dados TM/Landsat-07/88.

A análise das concentrações de clorofila-a geradas a partir do modelo resultou em um erro entre clorofila estimada em relação a observada de 19.6%, 24.4% e 39%, respectivamente para 04/91, 05/91 e 07/88. Este erro foi relativamente alto para 07/88 quando a concentração média de clorofila-a foi de 0.36 mg/m³. Este maior erro pode ser associado a baixa sensibilidade do TM em detectar concentrações muito baixas de clorofila-a.

5- Conclusão

Técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas na região costeira de Ubatuba, integrando dados do satélite Landsat 5/TM e dados oceanográficos. A metodologia de coleta se mostrou satisfatória, porém limitada em relação a quantidade de datas em que foram realizadas coletas. Esta limitação foi um compromisso entre data de aquisição do satélite Landsat, a não cobertura de nuvens na região e disponibilidade logística para realização das coletas de campo.

A análise dos dados oceanográficos demonstrou condições típicas de outono: presença da Água Continental e baixas concentrações de nutrientes. Estas condições refletem o estado de oligotrofia das datas em estudo. As condições oligotróficas resultam em baixas concentrações de clorofila-a, o que diminui a capacidade sensor TM em detectar clorofila-a. A análise estatísticas dos dados mostrou que a concentração de clorofila é altamente correlacionada com os dados do satélite, indicando a importância deste pigmento mesmo em baixas concentrações.

O modelo de regressão estatística gerado é estatisticamente confiável resultando em baixos erros de estimativas de clorofila-a para as datas em estudo, possibilitando a obtenção de uma visão espacial da distribuição de clorofila-a na água do mar.

Os resultados deste trabalho sugerem que o uso de sensores remotos para estimativas de clorofila em regiões oligotróficas é viável, e que um sensor mais apropriado, por exemplo o SeaWiFS, deve fornecer informações mais precisas sobre as concentrações de clorofila superficial da água do mar.

5. Referencias.

Aminot, A. Chaussepied, M. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Brest, CNEXO, 1983. 379p.

Bacheri, S.; Dios, R.A. Chlorophyll-a estimation in New Jersey coastal water using Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, 11(2):289-299, 1990.

Barale, V. Sea surface colour in the field of biological oceanography. **International Journal of Remote Sensing**, 12(4):781-793, 1991.

Chavez, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, 24:459-479, 1988.

Costa, M.P.F. **Estimativa de clorofila-a em água costeira utilizando dados do sensor TM/Landsat**. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1993, 183p. INPE-6127-TDI/588.

D'Alge, J.C.L.; Machado e Silva, A.J.E. Estudo comparativo entre projeção UTM e a projeção SOM. São José dos Campos, INPE, 1986. 9p.

Deuser, W.G.; Evans, R.H.; Brown, O.B.; Esais, W.E.; Feldman, G.C. Surface-ocean colour and deep-sea carbon flux: how close a connection? **Deep Sea Res.**, 37:1331-1343, 1990.

Ekstrand, S. Landsat TM based quantification of chlorophyll-a during algae blooms in coastal waters. **International Journal of Remote Sensing**, 13:1913-1926, 1992.

Gordon, H.R.; Clark, D.K.; Brown, J.W.; Brown, O.B.; Evans, R.H.; Broenkow, W.W. Phytoplankton pigment concentrations in the Middle Atlantic Bight: comparison of ship determinations and CZCS estimates. **Applied Optics**, 22(1):28-33, 1983.

Hardim Jr., L.W. Polychlorinated biphenyl inhibition of marine phytoplankton photosynthesis in the Northern Adriatic Sea. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 16(5):559-566, 1979.

Holligan, P.M.; Aarup, T.; Groom, S.B. The North Sea satellite colour atlas. **Continental Shelf Research**, 9(8):665-765, 1989.

Hooker, S.B.; Esais, W.E.; Feldman, G.C.; Gregg, W.; McClain, C.R. An Overview of SeaWiFS and Ocean Colour. **NASA Technical Memorandum** 104566, Vol. 1, 1992.

Kirk, J.T.O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. New York, Cambridge University, 1986.

Longhurst, A.R.; Harrison, W.G. The biological pump: Profiles of plankton production and consumption in the upper ocean. **Progress in Oceanography**, 22:47-123, 1989.

Mantovani, J.E. Radiometria de laboratório. São José dos Campos, 1992. Comunicação pessoal.

Markham, B.L.; Barker, J.L. Radiometric properties of U.S. processed Landsat MSS data. **Remote Sensing of Environment**, 22(1):39-71, Jun. 1987.

Miranda, L.B. Forma da correlação T-S de massas de água das regiões costeiras e oceânicas entre Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, 33(2):105-119, 1985.

Miranda, L.B.; Katsuragawa, M. Estrutura térmica na região sudeste do Brasil (outubro/novembro de 1988). **Publicação especial do Instituto Oceanográfico**, Universidade de São Paulo, SP, 8:1-14, 1991.

Morel, A.; Berthon, J.F. Surface pigments, algal biomass, and potential production of the euphotic layer: relationship reinvestigated in the view of remote sensing applications. **Limnology and Oceanography**, 34(8):1545-1562, 1989.

Morel, A.; Prieur, L. Analysis of variations in ocean colour. **Limnology and Oceanography**, 22(4):709-722, 1977.

Novo, E.M.L.M.; Braga, C.Z.F. Use of TM.Landsat to estimate chlorophyll concentration and turbidity in the Barra Bonita reservoir. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 24. Rio de Janeiro, Brazil, 27-31, May, 1991. **Proceeding**, São José dos Campos, INPE, 1991, p.25.

Perry, M.J. Assessing marine primary production from space. **BioScience**, 36(7):461-467, 1986.

Platt, T.; Sathyendranath, S. Ocean primary production: estimation by remote sensing at local regional scales. **Science**, 24:1613-1619, 1988.

Sassi, R.; Kutner, M.B.B. Variação sazonal do fitoplâncton da região do Saco da Ribeira, Ubatuba, Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, 31(2):29-42, 1982.

Tassan, S. Evaluation of the potencial of Thematic Mapper for marine application. **International Journal of Remote Sensing**, 8(10):1455-1478, 1987.

Tassan, S. The use of the Thematic Mapper for coastal water analysis. IN:ISPRSS Congress, 16. Kyoto. Japan, July, 10-11, 1988. **Proceedings**.

Taylor, M.A.; Stumpf, R.P. Feasibility of using satellite for detection of kinetics and small phytoplankton blooms in estuaries: tidal and migration effects. **Remote sensing of Environment**, 27(3):233-250, 1989.

Strickland, L.D.H.; Parsons, T.R. A practical hand-book of sea water analysis. 1968, Canada, **Bulletin of Fishing Research**. 311p.

Sturm, B. Optical properties of water applications of remote sensing to water quality determination. In: G. Frayse (Ed.), **Remote Sensing Application in Agriculture and Hydrology**. Rotterdam, Balkema, 1980, p.471-495.

Zillmann, S.M.S. **Distribuição do fitoplâncton na radial entre ilha Anchieta e Ilha Vitoria (Lat. 23o31'S-Long. 45o06'W a Lat 23o45'S-Long. 45o01'W) na região de Ubatuba**. (Dissertação de Mestrado) - Instituto Oceanográfico, USP, São Paulo, 1991.

Yentsch, C.S. **Light attenuation and phtytoplankton photosynthesis**. In:Moris, I. The physiological ecology of phytoplankton. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1980. p. 95-127.