

Avaliação de dados radiométricos para o desenvolvimento de algoritmos empíricos para estimativa da concentração de clorofila-*a* na Plataforma Continental de Santos (SP)

Melissa Carvalho¹
Sônia Maria Flores Giancesella¹
Áurea Maria Ciotti²
Flávia Marisa Prado Saldanha-Corrêa¹

¹Instituto Oceanográfico – USP
Praça do Oceanográfico, 191 – CEP: 055660-000 – São Paulo, SP – Brasil
{melissa, soniag}@io.usp.br
fsalcorr@usp.br

²Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus do Litoral Paulista
Praça Infante Dom Henrique, S/N – Parque Bitaru
CEP: 11330-900 – São Vicente, SP – Brasil
ciotti@csv.unesp.br

Abstract. The available chlorophyll algorithms for chlorophyll-*a* estimates using ocean color have low performance in coastal waters. The aim of this work is to evaluate the performances of two global algorithms OC4V4 (for SeaWiFS sensor) and OC3 (for MODIS), for chlorophyll-*a* in the continental shelf off Santos Bay (SP, Brazil). *In situ* chlorophyll concentration and ocean reflectance in 40 stations performed in October 2005 and March 2006 were compared. Spectral reflectances were averaged to simulate the bands from the satellite sensors, allowing the assessment of empirical algorithms. As expected, both showed low performances ($R^2=0.42$ for OC4V4 and $R^2=0.37$ for OC3). A multiple regression analysis using four distinct band ratios produced a better fit ($R^2=0.76$), suggesting a better regional algorithm (ACS) for use in these turbid waters.

Palavras-chave: *chlorophyll-a, radiometry, continental shelf, Santos, bio-optics algorithms, clorofila-a, radiometria, plataforma continental, Santos, algoritmos bio-ópticos.*

1. Introdução

Os algoritmos disponíveis para estimativas de clorofila-*a* são construídos para águas de Caso 1, onde a influência de material colorido particulado e dissolvido sobre a refletância produzida pelo fitoplâncton é bastante reduzida. Já em regiões costeiras a influência desses componentes pode ser muito significativa, e essas águas são classificadas como Caso 2.

Nas últimas décadas, dados da cor do oceano (ou refletância espectral), quer obtidos *in situ* como remotamente têm sido utilizados para estudos de ambientes oceânicos. Dentre as variáveis estimadas através da refletância espectral da água do mar, a concentração de pigmentos fotossintéticos apresenta grande aplicação científica, já que permite estudar a distribuição da biomassa fitoplanctônica no tempo e no espaço e viabiliza modelos de estimativa da produção primária. A obtenção dessas estimativas se dá pela elaboração de algoritmos regionais, geralmente empíricos e estatísticos, que geralmente dependem de medidas de variáveis *in situ* complementares (Behrenfeld e Falkowski, 1997; Platt, 1993).

Com o aumento da concentração de fitoplâncton, a refletância na região do azul diminui, enquanto pouca variação ocorre na região do verde, sendo esse o fundamento dos modelos empíricos robustos mais simples. Estes algoritmos usam, portanto, razões ou diferenças entre as refletâncias nessas duas regiões do espectro (Clark, 1970). Esse é o caso dos algoritmos globais OC4V4, desenvolvido para o sensor SeaWiFS (O'Reilly, 1998) e o OC3, desenvolvido para os dados do sensor MODIS (O'Reilly, 2000). Ambos algoritmos foram desenvolvidos para águas Caso 1, no qual a variável óptica predominante é a concentração de clorofila-*a*. Logicamente, esses algoritmos se tornam pouco eficientes para águas opticamente mais complexas (Caso 2), onde a refletância é igualmente influenciada pelo material em

suspensão e a matéria orgânica dissolvida. O desempenho desses algoritmos em águas do Caso 2 pode vir a melhorar com o emprego de um número maior de bandas espectrais no desenvolvimento das relações estatísticas (IOCCG, 2000).

As águas da plataforma continental de Santos, objeto desse trabalho, podem ser classificadas como águas Caso 2, de composição e propriedades ópticas bastante complexas e dinâmicas. O objetivo desse estudo é avaliar o desempenho de dois algoritmos globais empíricos, OC4V4 e OC3, para estimativas de clorofila-*a*, e desenvolver, a partir de dados radiométricos medidos *in situ* um algoritmo regional para estimativa de clorofila-*a* em águas da região da baía e plataforma adjacente.

2. Metodologia

As amostragens foram realizadas a bordo do N/Oc. “Prof. W. Besnard” em duas etapas, a primeira, de 12 a 15 de outubro de 2005 e a segunda, de 23 a 26 de março de 2006, seguindo o mesmo desenho amostral (**Figura 1**). Em cada etapa foram amostradas 40 estações na plataforma continental em frente a Santos, dispostas em 8 seções que foram percorridas em quatro dias, duas seções ao dia.

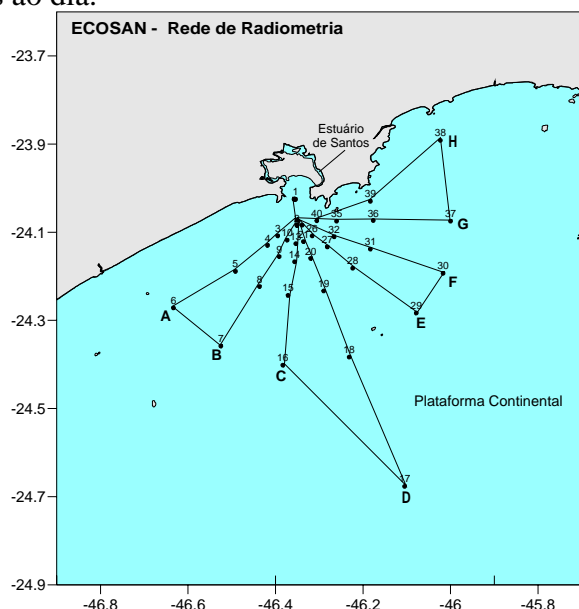


Figura 1 – Rede de estações de coleta na plataforma continental em frente ao estuário de Santos (SP).

As medidas radiométricas, entretanto, foram feitas apenas em 25 estações na primeira etapa e em 23 na segunda, correspondentes aos períodos de maior iluminação solar, aproximadamente das 7 às 17 horas.

Aquisição dos dados radiométricos

Para a aquisição dos dados radiométricos utilizou-se um espectroradiômetro Spectrom SE 590 com polarizador de luz, que coleta dados entre os comprimentos de onda 400 a 1100 nm. A resolução espectral média das varreduras é de 3 nm e um campo de visada (*Field of View*, FOV) de 25°. As medidas foram feitas a partir do convés, com o sensor posicionado a uma altura média de 3 m em relação à superfície da água. As medidas da superfície do mar e da placa de referência foram adquiridas pelo sensor posicionado com uma inclinação de 45° em relação à vertical, para evitar a influência da refletância especular. A placa de referência, uma superfície capaz de refletir isotropicamente toda a radiação que incide sobre ela, foi calibrada no Laboratório de Radiometria do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (LARAD/INPE). Em nossas observações, utilizamos uma placa de espectralon® com aproximadamente 12 cm

de diâmetro (na primeira etapa) e uma placa de sulfato de bário prensado (na segunda etapa). Para remoção da interferência da luz difusa (*skylight*) na medida de refletância da água foi utilizado um filtro polarizador de luz. Em cada ponto foram feitas três medidas sucessivas da água, da placa de referência e da irradiância solar incidente. As medidas de irradiância solar incidente foram feitas com o sensor direcionado para o céu, com uma inclinação de 135° em relação à superfície do mar.

Os dados radiométricos adquiridos foram transferidos e armazenados através do programa Espectro (Steffen et al., 1996), desenvolvido pelo Laboratório de Radiometria (LARAD) do INPE. Os valores de radiância foram convertidos para um formato amigável e lidos em uma planilha eletrônica, onde os espectros de refletância (R_{sr} , adimensional) foram extraídos através da calibração relativa entre a radiância medida na água pela radiância medida na placa de referência de acordo com a equação:

$$R_{sr} = \frac{L_w}{L_p} \times \frac{1}{\pi} \times R_p \quad (1)$$

Onde R_{rs} é a refletância de sensoriamento remoto normalizada do alvo, L_w a radiância da água, L_p a radiância da placa de referência e R_p o fator de refletância da placa. Para suavização do ruído e melhor visualização dos resultados, foi aplicado um filtro de média móvel de 3 pontos nos espectros de refletância.

Variáveis químicas e biológicas

Para determinação dos pigmentos fotossintéticos do fitoplâncton e material em suspensão total foram coletadas amostras de água superficial com garrafas Niskin. O material em suspensão total, fração orgânica e inorgânica, foram determinados através do método gravimétrico (APHA, 1985). Foram utilizados filtros AP-40 Millipore pré-calcinados e pesados. Para determinação da concentração de pigmentos fotossintéticos do fitoplâncton as amostras de água foram filtradas em filtros AP-40 (de acordo com Saldanha-Corrêa et al., 2004). Os filtros foram mantidos à -20 °C, até o momento da análise. Posteriormente, no laboratório, a extração dos pigmentos das células retidas nos filtros foi feita em acetona 90% por 18 h, à -4° C, no escuro. Após a centrifugação das amostras a 2000 rpm por 15 minutos, as absorbâncias dos extratos foram determinadas em um espectrofotômetro (Hitachi U2000), em cubetas de 5 cm de caminho óptico. A concentração de clorofila-*a* nas amostras foi determinada de acordo com as equações de Jeffrey & Humphrey (1975) e os carotenóides segundo Parsons et al. (1984).

Análise dos dados coletados *in situ*

Os dados de refletância nos intervalos de comprimento de onda correspondentes às bandas dos sensores SeaWiFS e MODIS (<<http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.htm>>; <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>>) foram obtidos através da média dos valores de refletância medidas com o espectroradiômetro *in situ* dentro destes intervalos. Foram testados os algoritmos empíricos OC4V4 e OC3 para estimar a concentração de clorofila-*a*. Análises de regressão também foram feitas entre as concentrações de clorofila *in situ* e as razões de bandas $R_{sr490/555}$ e $R_{sr488/551}$, utilizadas pelo OC4V4 e OC3 respectivamente, nas quais ajustou-se um polinômio de terceira ordem.

Outras razões de bandas foram calculadas e correlacionadas às concentrações de clorofila-*a*, e posteriormente selecionadas para uma análise de regressão múltipla. As seguintes razões foram utilizadas: 412/551, 443/551, 488/551 e 412/667 (com as bandas simuladas do MODIS) e 412/555, 443/555, 490/555 e 412/670 (com as bandas simuladas do SeaWiFS). Com a finalidade de se explicar os erros de estimativa dos algoritmos, foram analisados também os resíduos do algoritmo gerado e do OC4V4 em relação à concentração de carotenóides e MST.

3. Resultados e discussão

Algoritmos OC4V4 e OC3

As concentrações de clorofila-*a* nas duas etapas variaram entre 0,18 a 14,50 mg m⁻³, sendo que em 40 das 48 observações estiveram abaixo de 2 mg m⁻³ (Tabela 1). Em outubro/2005 as concentrações de clorofila-*a*, MST, bem como as proporções MST/Cl-*a*, foram maiores que em março/2006. Já as concentrações de carotenóides e a razão carotenóide/Cl-*a* foram mais altas em março/2006.

Não houve um bom ajuste entre a clorofila-*a* medida *in situ* e aquelas estimadas pelos algoritmos OC4V4 e OC3 para todo o conjunto de dados (n=48, **Figura 2a**) sendo que ambos algoritmos superestimaram os valores abaixo de 2 mg m⁻³ e os subestimaram acima de 4 mg m⁻³, mas em geral foram mais eficientes para concentrações abaixo de 2 mg m⁻³. As performances dos algoritmos separadamente para outubro/2005 e março/2006 (**Figuras 2b e 2c** respectivamente) mostraram melhores resultados para outubro/2005. Em março/2006, com a maior contribuição dos carotenóides, o aumento de absorção de luz região de 490 nm pode ter interferido nos resultados, fazendo com que os algoritmos superestimasse os resultados.

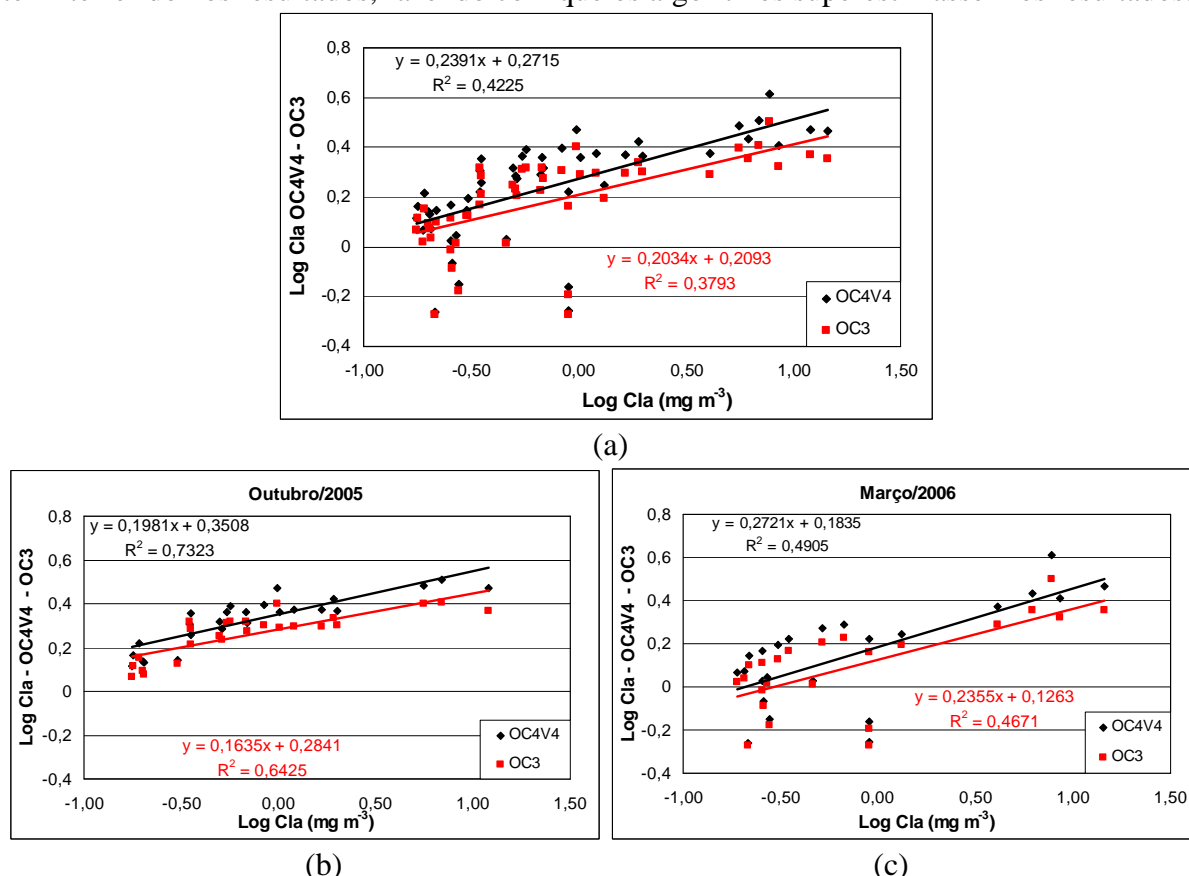


Figura 2 - Diagramas de dispersão das clorofilas estimada pelos algoritmos OC4V4 e OC3 *versus* a clorofila-*a* da superfície do mar medida, para todo o conjunto total de dados (a), para a etapa de outubro/2005 (b) e março/2006 (c).

Ajustando um polinômio de terceira ordem entre a clorofila *in situ* e o log das razões Rsr490/555 e Rsr488/551 (**Figura 3**), observa-se que a melhor correlação foi encontrada com Rsr490/555 (SeaWiFS). Embora as bandas estejam centradas em comprimentos de ondas próximos, as bandas do SeaWiFS são mais largas (20 nm) que as do MODIS (10 nm), o que pode influenciar a razão sinal/ruído do radiômetro utilizado *in situ* (e.g., Dekker et al., 1992).

Tabela 1 – Valores mínimos, máximos, médios e medianas das concentrações de clorofila-*a*, MST (material em suspensão total), MSO (material em suspensão orgânico), MSI (material em suspensão inorgânico) nas etapas de outubro/2005 e março/2006.

Etapa	Parâmetro	Cl a (mg m ⁻³)	MST (mg l ⁻¹)	Carotenóides (mg m ⁻³)	Carot/Cl a
Outubro/2005	Média	2,7	85,79	1,00	1,57
	Mediana	0,74	39,74	0,54	1,625
	Mínimo	0,18	14,95	0,03	0,94
	Máximo	17,99	443,4	6,22	2,16
Março/2006	Média	1,91	55,58	1,51	2,07
	Mediana	0,45	21,5	0,56	1,97
	Mínimo	0,14	13,75	0,33	0,95
	Máximo	14,5	235,9	7,96	4,12

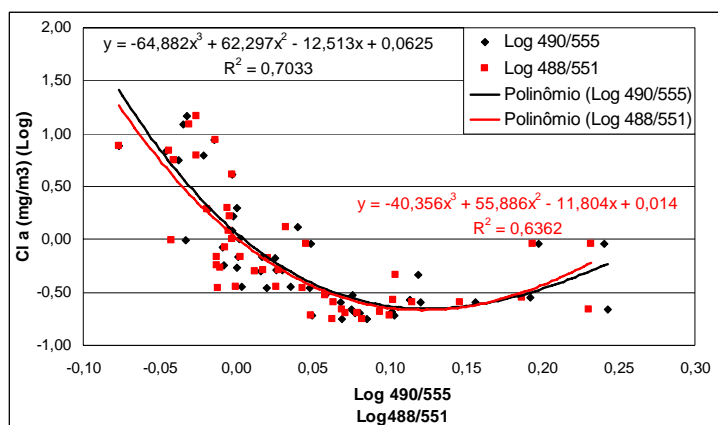


Figura 3 – Diagrama de dispersão das razões de bandas Rsr490/555 e Rsr488/551 (log) versus a clorofila-*a* da superfície do mar, medida *in situ*, para todo o conjunto de dados, ajustado por uma regressão polinomial de terceira ordem.

A equação polinomial ajustada para o presente conjunto de dados radiométricos obteve um coeficiente de determinação de 0,70, superior ao OC4V4 e OC3. Garcia et al. (2005) também encontraram melhor desempenho quando utilizaram a razão Rsr490/555, obtida a partir de um conjunto de dados radiométricos coletados *in situ* na região do Atlântico Sudoeste, em um polinômio de quarta ordem ($R^2=0,89$), do que quando utilizaram o OC4V4 ($R^2=0,87$). O melhor desempenho em relação aos resultados apresentados por esses autores se deve principalmente ao uso exclusivo de amostras de águas Caso 1 nas equações.

O logaritmo da Rsr490/555 foi a variável mais correlacionada com o logaritmo da concentração de clorofila-*a in situ*: -0,61. Correlações negativas foram observadas entre as bandas do azul (centradas em 412, 443, 488 e 490 nm) e vermelho (667, 670 e 678 nm) e a concentração de clorofila-*a*. Com as bandas centradas na região do verde (531 e 551 nm) a correlação foi positiva. Isto se deve à absorção pela clorofila-*a* no azul e vermelho e refletância no verde. A MODC também absorve na região do azul, mas diferentemente, a clorofila-*a* possui um pico de absorção também entre 670 e 680 nm (Dekker et al., 1992), região onde há espalhamento pelo material particulado. Assim, esta região do espectro pode ser utilizada para melhorar o desempenho dos algoritmos para estimativa de clorofila, quando combinados aqueles da faixa azul e verde para o complemento de informações, como MST por exemplo.

Algoritmo regional

A **Tabela 3** mostra as equações obtidas nas análises de regressão utilizando o logaritmo da concentração de clorofila-*a* e a razão de bandas Rsr490/555 e o logaritmo da clorofila-*a* com as quatro razões de bandas (Rsr412/555, Rsr443/555, Rsr490/555 e Rsr412/670), sendo este último chamado Algoritmo para Estimativa de Clorofila na Plataforma de Santos (ACS). A análise foi feita para todo o conjunto de dados e em seguida para as duas etapas (outubro/2005 e março/2006) separadamente.

A regressão para todo o conjunto de dados ($n = 48$), utilizando somente a razão de bandas Rsr490/555, obteve um coeficiente de determinação (R^2) de apenas 0,30. Quando separamos os dados por etapa de coleta obteve-se um $R^2 = 0,70$ para os dados de outubro de 2005 e $R^2 = 0,35$ para os dados de março de 2006.

Quando inserimos as outras razões de bandas (Rsr412/555, Rsr443/555 e Rsr412/670) na regressão com todo o conjunto de dados, o R^2 obtido foi de 0,76. Isto demonstra que os fatores intervenientes nas estimativas de clorofila podem ter seu efeito minimizado através da utilização das quatro razões de banda descritas. A mesma análise foi conduzida separadamente para os dados de outubro/2005 ($n = 25$) e março/2006 ($n = 23$). Verificou-se uma melhoria geral nos coeficientes de determinação: março/2006 ($R^2 = 0,85$) e outubro/2005 ($R^2 = 0,77$), principalmente em relação a março.

Tabela 3 – Equações empíricas para clorofila-*a* obtidas através de regressões múltiplas entre os dados *in situ* e a Rsr490/555 e com as quatro razões de bandas para todo o conjunto de dados (ACS), e separadamente para os dados de outubro/2005 e março/2006.

Variável	Equação, Coeficientes, R, R ² e n
Cla (log)	$Cla = 1,49 + B1(Rsr490/555)$ B1 = -1,44468 R=0,54, R ² =0,30, n = 48
Cla (log)	$Cla = 5,53 + B1(Rsr412/555) + B2(Rsr443/555) + B3(Rsr490/555) + B4(Rsr412/670)$ B1 = -3,2025, B2 = 9,7516, B3 = -12,3797, B4 = 0,5479 R=0,87, R ² =0,76, n = 48
Cla (log) out/2005	$Cla = 5,557 + B1(Rsr412/555) + B2(Rsr443/555) + B3(Rsr490/555) + B4(Rsr412/670)$ B1 = 0,65332, B2 = 2,46319, B3 = -8,69874, B4 = 0,09446 R=0,88, R ² =0,77, n = 25
Cla (log) mar/2006	$Cla = 5,311 + B1(Rsr412/555) + B2(Rsr443/555) + B3(Rsr490/555) + B4(Rsr412/670)$ B1 = 2,56003, B2 = -0,50575, B3 = -7,7145, B4 = 0,46177 R=0,92, R ² =0,85, n = 23

Um dos fatores intervenientes na estimativa de clorofila que tem seu efeito reduzido pelo uso das quatro razões de banda é o MST. No caso da região de Santos, outro fator que pode ter exercido grande influência nos resultados foi a ocorrência de floração de *Oscillatoria (Trichodesmium) erithrae* nas duas etapas. A floração de *Oscillatoria* se caracteriza por formar manchas na superfície da água, o que impede o retro-espalhamento da radiação de subsuperfície. Além disso, como sua coloração pode variar de vermelho, marrom, verde e amarelo, dependendo da idade do *bloom*, a assinatura espectral da floração pode ser semelhante às de plumas de sedimentos (Sarangi et al., 2004). Os pigmentos encontrados na *Oscillatoria*, além da clorofila-*a* e carotenóides, são a ficocianina e ficoeritrina, que possuem picos de absorção em torno de 495, 545 e 565 nm (Sarangi et al., 2004), diferente do pico de absorção dos grupos de fitoplâncton dominantes em águas oceânicas, em torno de 443 nm, devido à presença dominante das clorofilas.

Em outubro as concentrações de clorofila-*a* foram um pouco mais altas (média de 2,7 mg m⁻³ e mediana de 0,74 mg m⁻³) que as encontradas em março (média de 1,91 mg m⁻³ e mediana de 0,45 mg m⁻³). As concentrações de MST também foram mais elevadas em outubro/2005, com média de 85,79 mg l⁻¹, enquanto em março/2006 a média foi de 55,58 mg

l^{-1} . Outro fator que pode ter exercido forte influência nos resultados diz respeito à concentração de carotenóides, que foi elevada nas duas etapas, especialmente em março/2006.

Os diagramas de dispersão entre os resíduos do algoritmo OC4V4 e do algoritmo ACS (**Figura 4a e b**) mostram que os erros do OC4V4 foram maiores que os do ACS, variando de -0,94 a 0,69 para o OC4V4 e de -0,60 a 0,46 para a equação. Os erros do OC4V4 mostraram ser independentes da concentração de MST (**Figura 4a**), enquanto os carotenóides parecem ter maior relação com os erros de estimativa de clorofila-*a*, pois verificou-se uma superestimativa da concentração de clorofila-*a* quanto maior a proporção carotenóides/clorofila-*a*, devido à absorção em 490 nm por ambos (**Figura 4b**). O mesmo acontece em relação aos resíduos do ACS, onde os carotenóides parecem exercer maior influência na estimativa da clorofila-*a* do que o material em suspensão total (**Figuras 4a e b**).

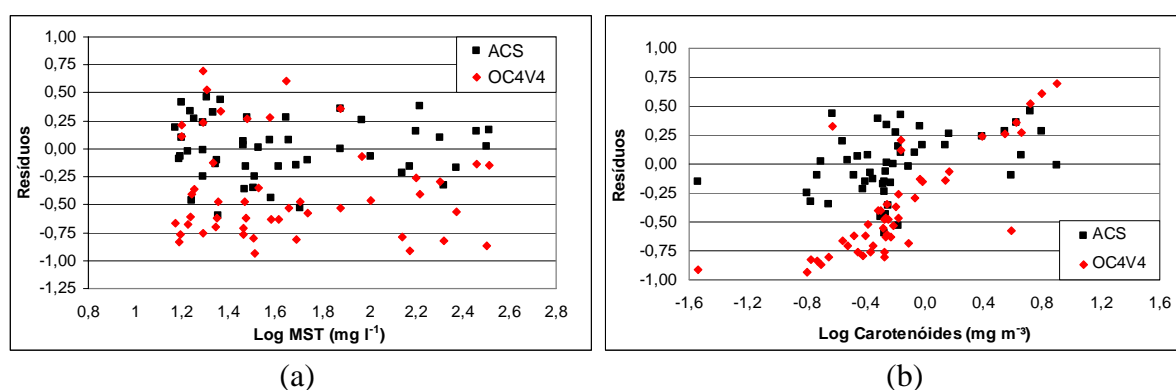


Figura 4 – Diagramas de dispersão dos resíduos do algoritmo OC4V4 e do algoritmo utilizando os dados *in situ* versus log da concentração de MST (a) e log da concentração de carotenóides (b).

4. Conclusões

Os resultados mostraram que os dados obtidos possuem um grande potencial para o desenvolvimento de um algoritmo regional mais eficiente que os disponíveis (águas do Caso 1) para a determinação da concentração de clorofila-*a* em ambientes costeiros. Entretanto, um maior número de amostras é recomendado para o refinamento do algoritmo, e uma base de dados independente se torna necessária para testar seu desempenho. Um próximo passo ser realizado será a utilização do presente algoritmo com dados de refletância dos sensores SeaWiFS e MODIS e comparação com medidas *in situ*, para verificar a eficiência do algoritmo desenvolvido no presente estudo. As bandas simuladas nos intervalos de comprimento de onda do SeaWiFS tiveram maior correlação com os dados que as simuladas nos mesmos intervalos das bandas do MODIS, assim como o algoritmo OC4V4, desenvolvido para os dados do SeaWiFS, que também se ajustou melhor aos dados *in situ* do que o OC3, do MODIS, provavelmente em função da largura e centro das bandas utilizadas. A inclusão da razão 412/670 no algoritmo proposto (ACS) foi a que mais contribuiu para a melhoria do mesmo, o que provavelmente decorre da absorção e espalhamento da matéria orgânica nessas bandas e da presença de alto teor de matéria orgânica no material em suspensão na região de Santos (Gianesella et al., 2006). A frequência de florações de *Oscillatoria sp* na região costeira de Santos é outro aspecto que deve ser melhor investigado, uma vez que florações foram registradas nas duas etapas. Neste caso, um algoritmo que considere a absorção pelos pigmentos acessórios deste gênero, tais como carotenóides, ficobilinas, ficocianinas e ficoeritrina, que absorvem em regiões distintas da clorofila-*a*, mais comumente encontrada em outros gêneros de fitoplâncton, pode se mostrar essencial para a região.

Agradecimentos

À FAPESP, financiadora do Projeto ECOSAN, ao qual este trabalho está integrado. Ao CNPq, pela concessão da bolsa de doutorado à primeira autora. Ao Laboratório de Radiometria da Divisão de Sensoriamento Remoto (LARAD/DSR) do INPE, na pessoa da Dra. Elisabete C. Moraes, pelo empréstimo do espectroradiômetro e ao M.Sc. Fabrício S. C. de Oliveira pelo apoio técnico. À equipe do laboratório PROFITO pela colaboração nas análises das amostras.

Referências

- APHA (American Public Health Association). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 16th ed. Washington, APHA, 1985. 1288 p.
- Behrenfeld M.; Falkowski, P. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. **Limnology Oceanography**, v.42, p.1-20, 1997.
- Clark, G.L.; Ewing, G.C.; Lorenzen, C.J. Spectra of backscattered light from the sea obtained from aircraft as a measure of chlorophyll concentration. **Science**, v.167, p.1119-1121, 1970.
- Dekker, A.G.; Malthus, T.J.; Wijnen, M.M.; Seyham, E. the effect of spectral bandwidth and positioning on the spectral signature analysis of inland waters. **Remote Sensing of Environment**, v. 41, p. 211-255, 1992.
- Garcia C.A.E.; Garcia, V.M.T.; McClain, C.R. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll algorithms in the Southwestern Atlantic and Southern Oceans. **Remote Sensing of Environment**, v. 95, p. 125-137, 2005.
- Gianesella, S.M.F.; Ricci, F.P.; Moser, G.; Saldanha-Corrêa, F.M.P., Fraiz-Toma, A. Distribuição do material em suspensão nos canais de Santos e São Vicente. In: Environmental and Health World Congress, July 16-19, 2006, Santos. **Anais...** Santos, 2006. p.642-645.
- IOCCG. **Remote sensing of ocean colour in Coastal, and other optically-complex, waters**. Sathyendranath, S. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, Dartmouth, Canada, n. 3, 2000. 140 p.
- Jeffrey, S.W.; Humphrey, G. F. New espectrofotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c* and *c*₂ in higher plants, algal and natural phytoplankton. **Biochem. Physiol. Pflanzen**. Bd.167, p. 191-194, 1975.
- O'Reilly, J.E., and 24 Coauthors. **SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3**. NASA Tech. Memo. 2000-206892, Vol. 11, S.B. Hooker and E.R. Firestone, Eds., NASA Goddard Space Flight Center, 2000. 49 p.
- O'Reilly, J.E.; Maritorena, S.; Mitchell, B.G.; Siegel, D.A.; Carder, K.L.; Garver, S.A.; Kahru, M.; McClain, C. Ocean Color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. C11, 24,937-24,953, 1998.
- Parsons, T.R.; Maita, Y.; Lalli, C.M. **A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis**. Pergamon Press, Oxford, 1984. 173 p.
- Platt, T.; Sathyendranath, S. Fundamental issues in measurement of primary production. In: Measurement of primary production from the molecular to the global to scale. In: Li, W.K.; Maestrini, S.Y., eds. ICES Marine Science Symposia. Actes du Symposium. La Rochelle, 1992. ICES, 19: p. 3-6, 1993
- Saldanha-Corrêa, F.M.P.; Gianesella, S.M.F. & Barrera-Alba, J. J. A comparison of the retention capability among three different glass-fiber filters used for chlorophyll determinations. **Brazilian Journal of Oceanography**, v.52, p. 245-249, 2004.
- Sarangi, R.K.; Chauhan, P. Nayak, S.R. Detection and monitoring of *Trichodesmium* blooms in the coastal waters off Saurashtra coast, India, using IRS-P4 OCM data. **Current Science**, v. 86, n.12, p.1636-1641, 2004.
- Steffen, C.A. Técnicas radiométricas com o Spectron SE-590. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (8), 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p. 969-975.