

Processamento digital de imagem IKONOS para o mapeamento de chapeirões no Parcel dos Abrolhos, BA

Frederico de Moraes Rudorff^{1,2}

Milton Kampel³

Paulo Yukio Gomes Sumida¹

¹ Universidade de São Paulo - USP/IO
Praça do Oceanográfico, 191 - Cep: 05508-120 - São Paulo - SP, Brasil
{fmr, paulo}@io.usp.br

² Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável - SDS/DRHI
Rua Frei Caneca, 400 - CEP 88025-060 Florianópolis – SC, Brasil
fmr@sds.sc.gov.br

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
milton@dsr.inpe.br

Abstract. In this meta paper, digital image processing and classification were applied on an IKONOS image in order to analyze its potential to map coral reef features called *chapeirões* at the Abrolhos Bank, BA. Only the blue band (485 nm) was able to visually identify the *chapeirões*, despite the relatively shallow tops. The main possible reason for this is the quite turbid waters. A digital unsupervised classification based on image segmentation was performed on an enhanced blue band. Small similarity and area thresholds (5 and 15, respectively) were used for the image segmentation due to the reduced dimensions of the reefs. This work shows for the first time that it is possible to map *chapeirões* using IKONOS images.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, coral reefs, Abrolhos Bank, sensoriamento remoto, processamento de imagens, recifes de coral, Banco de Abrolhos.

1. Introdução

Os ecossistemas recifais são apontados como um dos ambientes naturais mais ameaçados do planeta, e por isso são apontados como áreas prioritárias para a conservação. No Brasil os recifes se estendem de forma descontínua por cerca de 2.400 km, desde o Parcel de Manuel Luís, MA (~01°S) até os recifes de Viçosa, na área de Abrolhos (~18°S), além de ilhas oceânicas como o Atol das Rocas e Fernando de Noronha (Castro, 1999).

O maior complexo recifal do Brasil se localiza no Banco de Abrolhos, no sul da Bahia. Além de serem raros no mundo, os recifes de Abrolhos são os mais exuberantes do Brasil (Leão, 1999). Embora do número de espécies de corais hermatípicos encontrados em Abrolhos seja relativamente pequeno quando comparado a outras regiões como o Caribe e a Grande Barreira de Recifes da Austrália, as espécies de Abrolhos são de particular interesse por sua endemicidade e sua capacidade de sobreviver a condições extremas (Leão, 1999).

Uma característica intrínseca dos corais de Abrolhos é a sua forma de crescimento que formam grandes estruturas em formato de cogumelo chamadas de chapeirões, que podem atingir mais de 25 metros de altura e 50 metros de diâmetro (Leão, 1996). Outra característica particular em relação aos outros corais do mundo é a capacidade de se desenvolver em águas com turbidez relativamente mais elevada (Dutra et al., 2006; Leão e Ginsburg, 1997; Leipe et al., 1999). Estes aspectos conferem ao ecossistema de Abrolhos uma importância singular no Atlântico Sul e no mundo.

O mapeamento dos recifes de coral no Brasil vem sendo considerado uma das demandas prioritárias em função da carência de informações sobre a localização dos recifes submersos e do baixo grau de detalhamento no mapeamento dos recifes emergentes (Castro, 1999). A

eficiência do sensoriamento remoto (SR) orbital em quantificar extensões de habitats de recifes de corais é incomparável em termos de custo e cobertura geográfica (Mumby et al., 1999; Purkis, 2005). Imagens de satélites podem fornecer dados com ampla cobertura espacial dificilmente alcançada por técnicas *in situ* (Andréfouët e Riegl, 2004; Bouvet et al., 2003; Hochberg e Atkinson, 2003).

Prates (2006) elaborou um atlas de recifes nas unidades de conservação brasileiras através de imagens ETM⁺ do Landsat 7. Entretanto, a resolução espacial de 30 m do ETM⁺ é limitante para o mapeamento de estruturas recifais relativamente pequenas, como é o caso dos chapeirões em Abrolhos. Com o advento de sensores de alta resolução espacial, como o IKONOS e QuickBird, uma maior quantidade de habitats recifais podem agora ser discriminados.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma classificação digital de uma imagem IKONOS a fim de se analisar seu potencial na identificação dos chapeirões no Parcel dos Abrolhos, BA.

2. Metodologia de Trabalho

2.2. Imagem Ikonos

Uma imagem IKONOS adquirida no dia 2 de maio de 2008 com 100 km² cobrindo parte do Arquipélago e Parcel dos Abrolhos foi utilizada neste estudo. A imagem foi adquirida no formato *GeoBundle*, que inclui as bandas pancromática (1m, 450-900 nm) e multiespectrais (4m), azul (450-520 nm), verde (510-600 nm), vermelho (630-700) e infra-vermelho próximo (760-850 nm). A imagem possui correção geométrica de sistema e georreferenciada com precisão de posicionamento de 15 m.

2.3 Processamento digital

Um recorte da imagem limitado pelas latitudes 17°56'50" - 17°57'35" S e longitudes 38°39'48" - 38°38'43" W foi feito em uma área teste sobre o Parcel dos Abrolhos selecionada para realizar a classificação preliminar e verificar a viabilidade para identificar e mapear os chapeirões submersos. As imagens foram radiométricamente corrigidas no *software* ENVI e o restante dos processamentos foi realizado no *software* SPRING. Foram testadas duas técnicas de classificação: (i) Análise de Componentes Principais (PCA) nas bandas do azul (485 nm), verde (555 nm) e vermelho (665 nm) e (ii) Classificação da imagem pré-segmentada.

Foram aplicados realces nas bandas 1B, 2G e 3R com o intuito de obter o maior contraste entre os chapeirões e as águas relativamente mais profundas no entorno (aproximadamente 20m). Como só foi possível identificar com maior nitidez os chapeirões na banda azul, esta foi selecionada para realizar os testes de segmentação e classificação.

A segmentação foi realizada baseada na técnica de crescimento por regiões na qual polígonos são agregados a partir de pixels individuais, crescendo interativamente até que todos os pixels tenham sido processados. Os limiares dos números digitais de similaridade e tamanho de área foram testados através de tentativa e erro até obter a melhor segmentação para os alvos de interesse. Foram testadas diversas combinações com números digitais de tamanho de área e números digitais de similaridade.

Para a classificação foi utilizado o método ISOSEG, testando diferentes limiares de aceitação. A melhor combinação foi determinada com base na análise visual dos resultados. Finalmente foi realizada a edição matricial para eliminar alguns erros de classificação.

2.3 Levantamento de campo

Um cruzeiro no verão foi realizado em janeiro de 2008, quando foram adquiridos espectros nos recifes em um chapeirão no Parcel dos Abrolhos. Foram realizadas medidas

radiométricas *in situ* sobre a superfície da água com o radiômetro hiperespectral ASD FieldSpec HH[®] do INPE. A faixa espectral amostrada é de 350-1050 nm, com resolução média de 3 nm. O protocolo de medidas adotado foi o sugerido por Fougnie et al. (1999). Na Figura 1 são mostradas uma foto no momento em que estavam sendo amostrados espectros do chapeirão acima da água e outra do detalhe do chapeirão. O processamento dos dados para o cálculo das reflectâncias de sensoriamento remoto (Rsr) foi o mesmo descrito por Kampel et al. (2007).

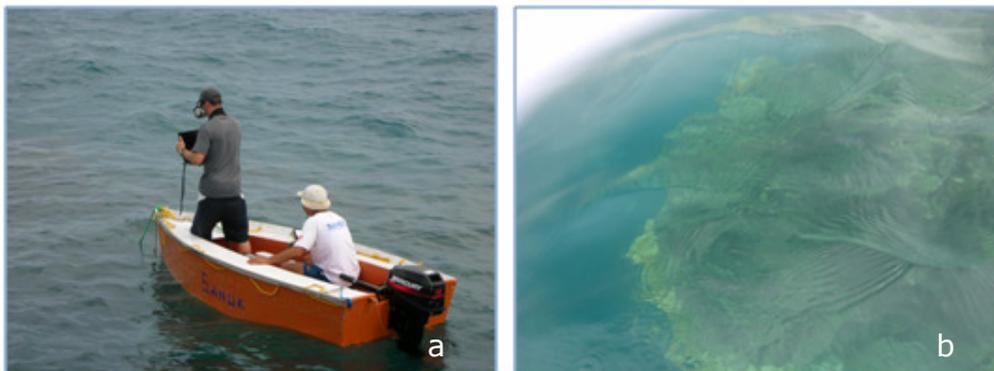


Figura 1a) Aquisição de dados radiométricos sobre o chapeirão em 27/01/08 no Parcel de Abrolhos, BA; b) foto do chapeirão no momento da aquisição da radiometria (17°58.394' S/38°40.456' W).

Em cada estação, foram registradas a posição geográfica, data, hora, profundidade da coluna da água, vento, visibilidade, pressão atmosférica e condições da superfície do mar. Sempre que possível, as medições radiométricas foram obtidas sobre substratos relativamente grandes e espacialmente homogêneos, entre 10:00 e 16:00 horas (local), aproximadamente, para assegurar uma elevação mínima do sol de 30° acima do horizonte. Também foram tiradas fotografias dos alvos e anotadas suas principais características.

3. Resultados e Discussão

3.1 Processamento digital

A PCA das bandas vermelho, verde e azul não foi capaz de identificar satisfatoriamente os chapeirões. Na área teste, apenas a banda no azul foi capaz de identificar com clareza os chapeirões (Figura 3a). Na banda verde (Figura 3b), apenas os chapeirões mais rasos estavam visíveis, enquanto que no vermelho (Figura 3c) não foi verificada nenhuma resposta dos chapeirões. Este comportamento espectral diferenciado é consequência da maior atenuação dos comprimentos de onda mais longos na coluna d'água, enquanto que os comprimentos mais curtos penetram até profundidades relativamente maiores (Mobley, 1994).

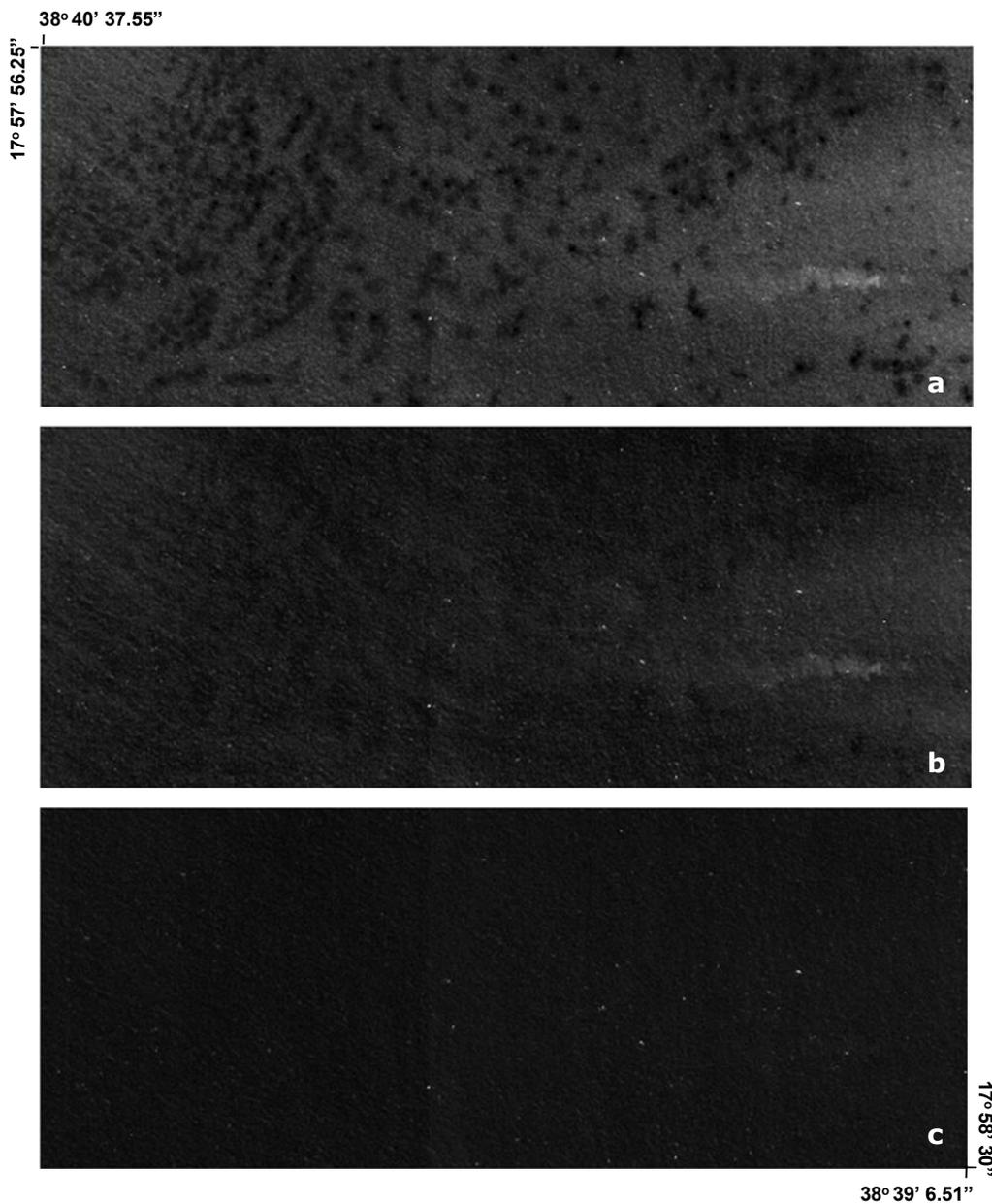


Figura 3.a) recorte da banda IKONOS no azul (485 nm), mostrando os chapeirões à esquerda; b) recorte da banda no verde (555 nm), com poucos chapeirões visíveis; e c) recorte da banda no vermelho (655 nm), onde toda a imagem aparece em tons escuros não sendo capaz de identificar os chapeirões.

Na Figura 4 estão representados diversos espectros calculados a partir de dados coletados ao longo do cruzeiro de verão. De forma geral as curvas espectrais das Rsr da água apresentam comportamentos típicos de águas costeiras com concentrações moderadas de clorofila e sedimento (Sathyendranath, 2000). Entretanto, pode-se notar uma diferença na Rsr do chapeirão, principalmente nos comprimentos de onda maiores que 600 nm, onde a Rsr não diminui rapidamente, como é observado nos outros espectros (Figura 4). Para realizar uma análise mais criteriosa das diferenças comportamentais entre os espectros da água e dos chapeirões deverão ser coletados mais espectros dos chapeirões e de água ao redor dos

mesmos. No momento das medições a maré estava baixa e a altura da coluna d'água estava cerca de 0,5 m sobre o chapeirão.

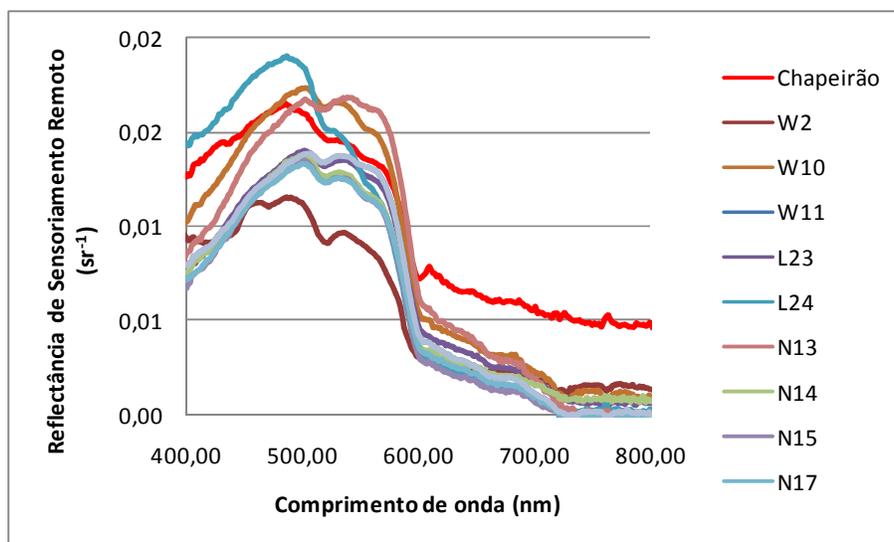


Figura 4. Espectros das Reflectâncias de Sensoriamento Remoto sobre a água calculados a partir de medições realizadas durante o cruzeiro de verão em janeiro de 2008 no Banco de Abrolhos. Destaque em vermelho para a curva obtida em cima do chapeirão com 0.5 metros de coluna d'água.

A PCA para classificação dos chapeirões não rendeu um resultado satisfatório justamente porque praticamente a totalidade da informação dos chapeirões se encontra na banda do azul.

Já a classificação a partir de imagem pré-segmentada mostrou potencial para o mapeamento dos chapeirões. Os melhores resultados da segmentação foram obtidos com os limiares de área 5, e de similaridade 15, enquanto que para a classificação foi escolhido o limiar de aceitação de 99.5%. Os baixos limiares de área são justificados pela dimensão relativamente pequena dos chapeirões. Já o limiar de 15, apesar de segmentar diversos alvos que não eram chapeirões (ex. diferentes tonalidades de água), foi capaz de segmentar todos os alvos considerados chapeirões.

Na Figura 5 é mostrado o resultado da classificação na área teste selecionada após edição matricial. Uma checagem de campo para avaliar a acurácia da classificação deve ser ainda realizada. Não obstante, uma comparação visual mostra uma concordância entre as feições da imagem e a classificação.

Possivelmente a fusão das bandas multiespectrais com a banda pancromática deve melhorar o resultado da classificação uma vez que a resolução espacial será ainda maior. Outros pré-processamentos que também podem melhorar o resultado são a remoção dos efeitos da rugosidade do mar e a correção atmosférica. Não obstante, os resultados preliminares indicam que é possível mapear os chapeirões.

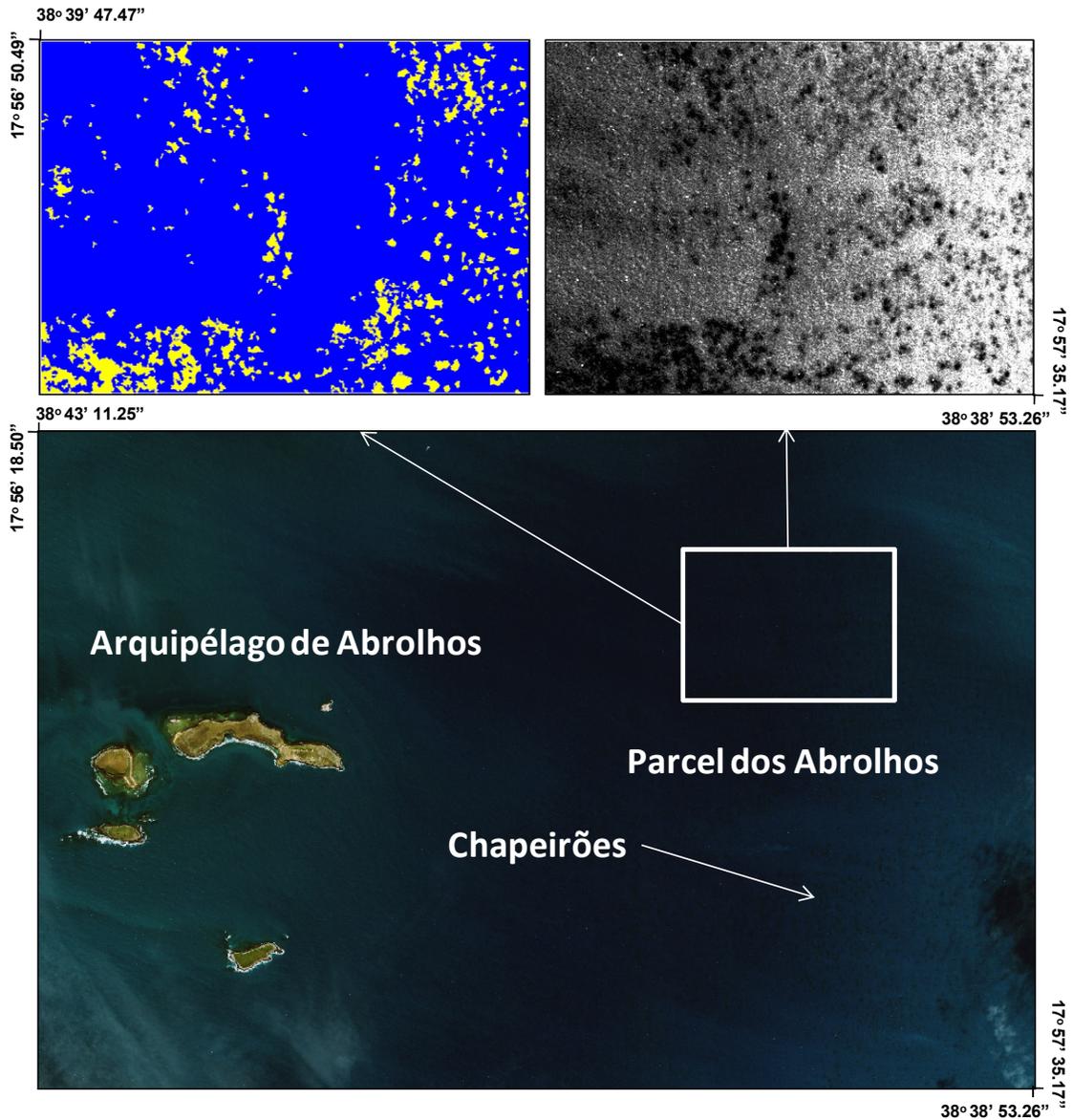


Figura 5. Mapeamento preliminar dos chapeirões localizados no Parcel dos Abrolhos a partir da classificação digital de imagem IKONOS de 02/05/2008.

4. Conclusões

Pela primeira vez no Brasil uma imagem de alta resolução espacial foi utilizada para o mapeamento dos chapeirões de Abrolhos. As técnicas de processamento digital da imagem IKONOS empregadas neste trabalho se mostraram promissoras para o mapeamento destas feições recifais. Contudo, ressalta-se que este trabalho está em desenvolvimento, sendo que os métodos de processamento e classificação digitais deverão ser melhor explorados e os desempenhos avaliados com base em dados de verdade de campo.

Não obstante, o presente trabalho é uma importante contribuição para a pesquisa científica e conservação de recifes, uma vez que futuramente tais técnicas poderão ser empregadas para o mapeamento sistemático dos chapeirões do Banco de Abrolhos com significativo grau de detalhamento.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo CNPq (Projeto Pro-Abrolhos, Proc. n° 420219/2005-6) e pela FAPESP (Projeto Mapeamento dos habitats bênticos do Banco de Abrolhos, Proc. n° 2007/00535-0).

Referências Bibliográficas

Andréfouët, S.; Riegl, B. Remote sensing: A key tool for interdisciplinary assessment of coral reef processes. **Coral Reefs**, v. 23, p. 1-4. 2004.

Bouvet, G., Ferraris, J.; Andréfouët, S. Evaluation of large-scale unsupervised classification of New Caledonia reef ecosystems using Landsat 7 ETM+ imagery. **Oceanologica Acta**, n. 26, p. 281-290. 2003.

Castro, C.B, **Recifes de Coral**. Porto Seguro: Fundação BIO RIO, 1999.

Dutra, L.X.C., Kikuchi, R.K.P.; Leão, Z.M.A.N. Effects of sediment accumulation on reef corals from Abrolhos, Bahia, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. SI 39, p. 633-639. 2006.

Taylor, M. H. IKONOS Radiometric Calibration and Performance after 5 Years on Orbit. In: CALCON Technical Conference. **Proceedings...** Logan. 2005.

Fougnie, B., Frouin, R., Lecomte, P. e Deschamps, P.-Y. Reduction of Skylight Reflection Effects in the Above-Water Measurement of Diffuse Marine Reflectance. **Applied Optics**, v. 38, n. 18, p. 3844-3856. 1999.

Hedley, J. D.; Harborne, A. R.; Mumby, P.J. Technical note: Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 10, p. 2107 - 2112. 2005.

Hochberg, E.J.; Atkinson, M.J. Capabilities of remote sensors to classify coral, algae e se as pure e mixed spectra. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, p. 174-189. 2003.

Kampel, M.; Lorenzetti, J. A.; Bentz, C. A.; Nunes, R. A.; Rudorff, F. M.; Politano, A. T. Medidas simultâneas de concentração de clorofila por LIDAR, fluorescência, MODIS e radiometria: resultados do cruzeiro FITOSAT I. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007 p. 4611-4618.

Leão, Z.M.A.N. Abrolhos - O complexo recifal mais extenso do Oceano Atlântico Sul. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. (Ed.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. SIGEP, 1999, p. 345-359.

Leão, Z.M.A.N. The coral reefs of Bahia: morphology, distribution e the major environmental impacts. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 3, p. 439-452, 1996.

Leão, Z.M.A.N.; Ginsburg, R.N. Living reefs surrounded by siliciclastic sediments: the Abrolhos coastal reefs, Bahia, Brazil. In, International Coral Reef Symposium , 8., 1997, Panamá. **Proceedings... 1997**, p. 1767-1772.

Leipe, T., Knoppers, B., Marone, E. e Camargo, R.. Suspended matter transport in coral reef waters of the Abrolhos Bank. **Geo-Marine Letters**, v. 19, p. 186-195, 1999.

Mobley, C. D. **Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters**. Academic Press, 1994. 592 p.

Mumby, P.J., Green, E.P., Edwards, A.J.; Clark, C.D. The costeffectiveness of remote sensing for tropical coastal resources assessment e management. **Journal of Environmental Management**, v. 3, p. 157-166., 1997.

Purkis, S.J. A "Reef-Up" approach to classifying coral habitats from IKONOS imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 6, p. 1375- 1390, 2005.