

Classificação digital de imagem de satélite de alta resolução espacial na identificação de habitats de recifes de coral das praias de Ponta Verde e Jatiúca, Maceió-AL.

Antonio José Pereira Almeida^{1,2}
Esdras de Lima Andrade^{1,2}
Henrique Grande¹
Marco Antonio Diniz do Nascimento^{1,2}

¹Instituto do Meio Ambiente de Alagoas – IMA/GEOP
Av. Major Cícero de Góes Monteiro, nº 2197, CEP 57017-320 - Mutange - Maceió/AL
tony.n12@gmail.com; esdras.andrade@yahoo.com.br; henriquegrande@ymail.com;
marco.diniz00@gmail.com

²Universidade Federal de Alagoas – UFAL/ PPGRHS/IGDEMA/LGA
BR-104, km 14, Campus A. C. Simões, CEP 57072-970, Maceió, AL, Brasil

Abstract. This article records a digital classification of satellite images with a high spatial resolution on shallow coral reefs by maximum-likelihood classification method. After classification process the categories identified were submitted to confusion matrix and Kappa coefficient to check the quality of thematic map, which recorded an index of 0.77, value that corresponds to an excellent classification performance. We identified seven habitat categories (with sampling in situ), highlighting the dominance of macroalgae and soft corals, which together include approximately 40% of the studied area.

Keywords: Coral reefs, high spatial resolution, habitats, recifes de coral, alta resolução espacial.

1. Introdução

Os recifes de corais estão entre os ecossistemas de maior diversidade do mundo (Connell, 1978; Bryant *et al.*, 2000). São considerados ambientes complexos, tendo como característica a alta produtividade (Bryant *et al.*, 2000; Souter & Lindén, 2000) e uma grande variedade de micro-habitats que suportam uma rica comunidade biológica (Luckhurst & Luckhurst, 1978).

No Brasil, os recifes de corais distribuem-se por cerca de 3.000 km da costa nordeste, desde o sul da Bahia até o Maranhão, possuindo os únicos recifes coralíneos do Atlântico Sul (Paulay, 1997). Contudo, considerando as áreas de recifes de corais, pouco se sabe sobre os padrões de diversidade e os impactos antrópicos sobre estes ecossistemas (Maida & Ferreira, 1997).

O mapeamento de habitats e a caracterização das comunidades biológicas é uns dos pré-requisitos fundamentais para avaliar as condições ecológicas de qualquer ecossistema. A previsão da distribuição de habitat é uma ferramenta poderosa para ajudar a compreender os processos ecológicos, e constitui uma linha de base fundamental para o manejo e gestão (Garza-Pérez *et al.* 2004).

Um dos meios para classificar os habitats se dá através do uso do Sensoriamento Remoto, em especial, imagens de satélites e fotografias aéreas de alta resolução espacial destinados ao mapeamento dos recifes coralinos (Mumby *et al.* 1997). O sensoriamento remoto por satélites oferece uma técnica não invasiva, de maior precisão e resolução que permitem a otimização de tempo e investimentos, sendo considerada uma ferramenta útil para o mapeamento de substrato bentônico (Mumby *et al.* 1997), monitoramento das mudanças ecológicas (Zainal *et al.* 1993, Mumby *et al.*, 1998) e o gerenciamento dos recifes de corais (Jupp *et al.* 1985, Green *et al.* 1996).

Tendo em vista que as formações dos recifes situados na cidade de Maceió constituem um rico reservatório natural da biodiversidade marinha e por ser um elemento agregador de valor paisagístico, servindo como grande atrativo turístico e uma importante fonte de renda para as

comunidades que deles exploram. Assim, este estudo torna-se importante por mapear detalhadamente, identificar as características recifais e servir de instrumento para uma adequada gestão dos ambientes marinhos com vistas ao uso sustentável e a conservação desses ecossistemas costeiros.

O presente trabalho apresenta os resultados do mapeamento dos recifes localizados na margem da praia urbana de Ponta Verde, município de Maceió, através da classificação digital de imagem de satélite de alta resolução espacial; que por sua vez, teve como objeto analisar a utilidade destas imagens orbitais. Diante disto, concluiu-se que a imagem do satélite QuickBird apresenta excelentes condições para estudos deste tipo.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

O local de estudo foi realizado em formações recifais localizados no litoral do Estado de Alagoas, na área urbana da cidade de Maceió. Foi constatado que se trata de um recife emergente, cujo topo da plataforma recifal apresenta-se exposto em marés baixas de sizígia. A região entre marés do recife foi caracterizada por apresentar ampla biodiversidade, em sua maior parte localizados nas pequenas piscinas recifais formadas durante as baixas marés.

Foram selecionadas duas áreas de recifes de corais assim determinados: Recife da praia de Ponta Verde ($9^{\circ}39'56.87''S$ / $35^{\circ}41'44.98''W$) e Recife da praia de Jatiúca ($9^{\circ}39'14.56''S$ / $35^{\circ}41'50.05''W$) (Figura 1).

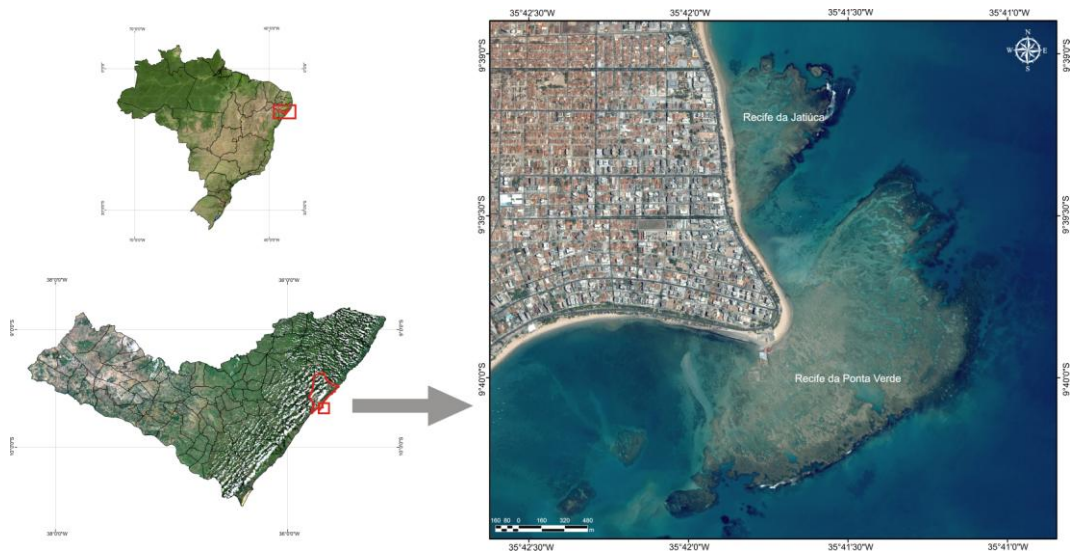


Figura 1. Localização da área de estudo nas praias de Ponta Verde e Jatiúca da área urbana de Maceió - AL.

2.2. Imagem Utilizada

O trabalho foi desenvolvido sobre uma imagem do satélite QuickBird, contemplando as praias Ponta Verde e Jatiúca da cidade de Maceió. A imagem foi adquirida no formato GeoTIFF, com data de passagem 14/02/2011, com resolução espacial de 0,6m e resolução radiométrica de 8 bits. Sendo a imagem constituída com 3 bandas multiespectrais (vermelho - R - 0,63 a 0,69 μ m, verde - G - 0,52 a 0,60 μ m, azul - B - 0,45 a 0,52 μ m) resultou na imagem multiespectral em uma composição que correspondem a faixa do visível. A escolha desta composição se deu pelo fato de que nessa faixa do espectro eletromagnético a radiação eletromagnética possui uma maior capacidade de penetração na água (Mumby et al., 1997).

2.3. Processamento de imagem

O processamento de imagem foi realizado com o software ENVI 4.8, onde foram aplicados realces nas bandas 1B, 2G e 3R com o intuito de obter o maior contraste entre os recifes e as águas relativamente mais profundas no entorno dos recifes. Na imagem foi realizada uma correção atmosférica, a fim de eliminar as condições atmosféricas no momento da aquisição da imagem, utilizando-se o módulo FLAASH-ENVI (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes).

2.4. Classificação dos habitats marinhos

Para este trabalho foi escolhido o classificador Maximum Likelihood (máxima verossimilhança). A eficácia do classificador de máxima verossimilhança foi testada para diferentes e diversas aplicações, e em particular para estudos e mapeamentos de recifes de corais, tornando-se o classificador mais utilizado para este tipo de aplicação (Mumby & Edwards, 2002; Mumby et al. 1997). Sua principal vantagem é que ele oferece uma maior margem para a contabilização das variações através da utilização da análise estatística dos dados, tais como a média, variância e covariância.

A categorização dos habitats foi determinada de acordo com a predominância da cobertura bentônica no local. Sete categorias nominais de cobertura bentônica foram definidas: 1. Macroalgas, constituído principalmente *Dictyota spp*, *Sargassum spp*, *Laurencia spp* e *Caulerpa spp*. 2. Algas calcárias; 3. Algas filamentosas; 4. Coral mole, formados por cnidários não esqueléticos como as espécies *Palythoa caribaeorum* e *Zooanthus spp.*; 5. Coral duro, incluindo corais escleractíneos e hidrocorais; 6. Areia com substrato calcário provenientes de algas calcárias como *Halimeda*, corais e conchas; 7. Areia com substrato fino (Tabela 1).

Tabela 1. Composição biótica e do substrato dos habitats dos recifes de Ponta Verde e Jatiúca

Composição dos Habitats	Espécies
Macroalgas	<i>Dictyota spp</i> - Predominante <i>Sargassum spp</i> <i>Laurencia spp.</i> <i>Caulerpa spp.</i>
Algas Calcárias	<i>Algas turf</i> - Predominante <i>Halimeda spp.</i>
Algas Filamentosas	<i>Cladophoropsis spp.</i>
Coral Mole	<i>Zooantus spp.</i> - - Predominante <i>Palythoa</i> - - Predominante
Coral duro (encontrados somente em pontos muitos específicos)	<i>Millepora spp.</i> <i>Mussismila spp.</i> <i>Siderastrea stellata</i> <i>Agaricia spp.</i> <i>Montastrea cavernosa</i> <i>Porites spp.</i> <i>Favia gravida</i>
Areia com substratos calcários, predominância de <i>Halimeda</i> , conchas e corais erodidos.	
Areia	

2.5. Trabalho de campo

Para a efetiva caracterização e classificação ecológica dos habitats que compõem o sistema recifal estudado, utilizou-se como critério a predominância da cobertura das espécies, verificadas *in situ*, realizando amostragens de campo no período de agosto de 2012. No total foram visitados 75 pontos distribuídos de forma que representasse as diferentes classes de habitats da área de estudo (Figura 2).

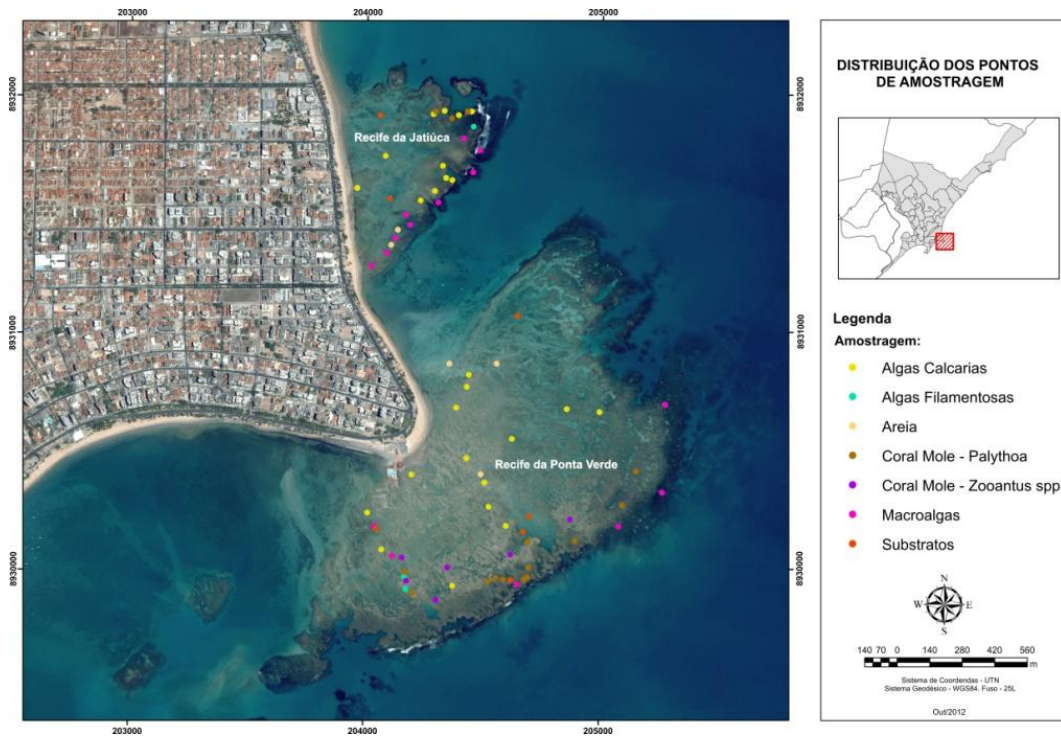


Figura 2. Localização dos pontos de amostragem

2.6. Avaliação de Precisão

Para aferir a veracidade do resultado da classificação de uma imagem, a qualidade do mapa temático deve ser determinada (Moreira, 2008). A acurácia do mapa de habitat foi produzida utilizando a matriz de confusão ou de erros.

Um subproduto da matriz de confusão, que auxiliou na precisão do classificador foi a utilização do coeficiente Kappa (κ). Uma das vantagens alegadas para uso do Kappa é de que ele incorpora a informação dos pixels mal classificados, e não apenas dos bem classificados. A equação que fornece o valor de Kappa é dada por:

$$K = \frac{X \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{X^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad (1)$$

Onde, X = elemento da matriz de erros; R = número de categorias presentes na matriz de erros; X_{ii} = elementos da diagonal principal; X_{i+} = total da linha para uma dada categoria informacional; e X_{+i} = total da coluna para uma dada categoria informacional.

3. Resultados e Discussão

Os resultados indicam que a classificação digital de imagem de satélite de alta resolução para o mapeamento de habitats dos recifes de coral apresentou uma alta definição na geração

dos mapas bióticos, podendo ser considerado um instrumento versátil e bastante útil na pesquisa e manejo dos recifes coralinos do Nordeste do Brasil.

Em termos gerais, a composição dos recifes da área de estudo é todo composto por uma estrutura recifal biogênica, onde se desenvolve toda biótica e seus habitats.

Ao longo dos recifes da Ponta Verde e Jatiúca, foram identificadas 2 espécies de coral não esquelético (coral mole); 4 espécies de macroalgas; 2 algas calcárias; 2 espécies de alga filamentosa e 6 espécies de Coral Duro, este último não gerando grande áreas, achados somente em pontos muito específicos nos recifes. Tendo uma composição semelhante biologicamente, algumas espécies de Macroalgas e algas filamentosas foram fundidas, de modo a harmonizar a número de grupos obtido a partir da classificação supervisionada.

O mapa de habitats gerado a partir da classificação permitiu espacializar a abundância e a diferença dos habitats dos platôs recifais (Figura 3). Os resultados identificaram as algas calcárias como categoria mais relativa sobre o platô recifal da Ponta Verde e Jatiúca, cobrindo cerca de 751,909 m² (38,19%), o habitat mais dominante. De acordo com Leão *et al.* (2003) e Labrel e Kempf (1967), as algas calcárias são, em muitos casos, um dos principais construtores da estrutura recifal dos recifes brasileiros.

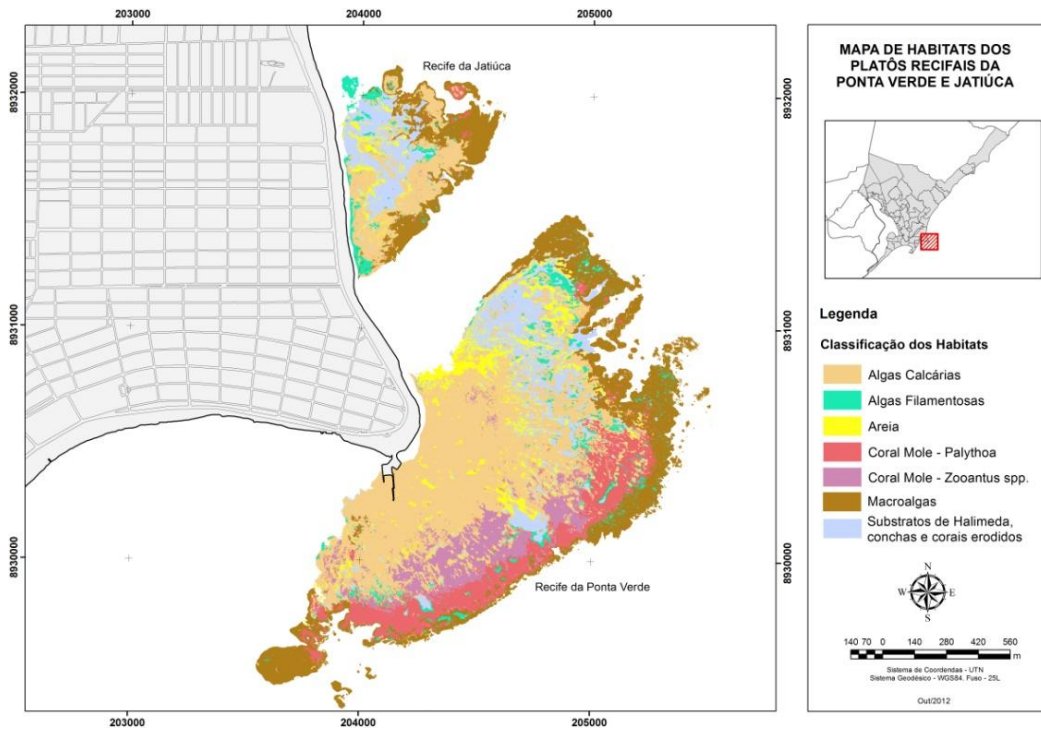


Figura 3. Mapa dos habitats

Quanto aos outros habitats, a classificação aferiu os seguintes resultados quanto as suas coberturas: Algas Filamentosas 87,790m² (4,46%); Coral Mole – espécie *Zooantus spp.* 127,344m² (6,48%); Coral Mole – espécie *Palythoa caribaeorum* 198,399m² (10,09%); Macroalgas 427,491m² (21,74%); Areia com substrato calcário com predominância de *Halimeda*, coral e conchas 249,646m² (12,74%) e Areia com substrato fino 123,839m² (6,30%), totalizando 1.966,418m² de cobertura dos habitats, ou seja, de área recifal.

O tratamento das imagens em função da correção atmosférica resultou em uma considerável variação na acurácia na classificação. Esta, por sua vez, apresentou uma acurácia total de 82%, valor acima do recomendado, que varia entre 60 a 80% para mapeamentos costeiros e para inventário marinhos (Green *et al.*, 2000). Quanto ao valor do coeficiente Kappa, obteve-se o valor de 0,77, o que representa um bom resultado de acordo com Mather

(1999), o qual mostrou que valores de 0,75 ou mais, representam de bom a excelente desempenho da classificação.

As classes “Coral Mole”, constituído por *Palythoa caribaeorum*, e “Macroalgas” apresentaram elevados valores de acurácia, enquanto os habitats dominados por classes de “Algas Calcárias” e “Coral Mole” – constituído por *Zooantus spp* obtiveram os menores valores, onde diversos pontos de *Zooantus sp* foram confundidos, o que pode ser verificado nas matrizes de confusão ou de erro (Tabela 2). Fato este que segundo Moreira (2009) provavelmente está relacionada à menor variação espectral do substrato em zonas mais homogêneas, diminuindo eficiência na classificação. As respostas espectrais destas categorias são mostradas na figura 4. Outro motivo para a confusão nas duas classes pode estar abrangendo as limitações da sensibilidade espectral do satélite e sobreposições espectrais entre objetos visualmente semelhantes.

Tabela 2. Tabela composta pela matriz de confusão gerada a partir da classificação.

Acurácia Geral = 81,41%								
Coeficiente Kappa = 0,77								
Classes	Macro algas	Algas Calc.	Coral <i>Palythoa</i>	Coral <i>Zooantus</i>	Algas Filam	Areia com Subst	Areia	Total
Macroalgas	89,52	0,08	1,09	0,02	8,88	0,00	0,00	99,59
Algas Calcárias	1,59	70,45	2,49	16,49	2,82	0,06	2,22	96,12
Coral - <i>Palythoa</i>	4,56	4,22	94,49	1,81	1,65	0,00	0,00	106,73
Coral - <i>Zooantus</i>	0,00	21,72	1,22	81,68	1,02	0,00	1,2	106,84
Algas Filam.	4,31	3,19	0,7	0,00	85,47	0,64	0,00	94,31
Areia com Subst.	0,02	0,05	0,00	0,00	0,16	83,2	12,13	95,56
Areia	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	16,1	84,44	100,83
Total	100	100	100	100	100	100	100	700

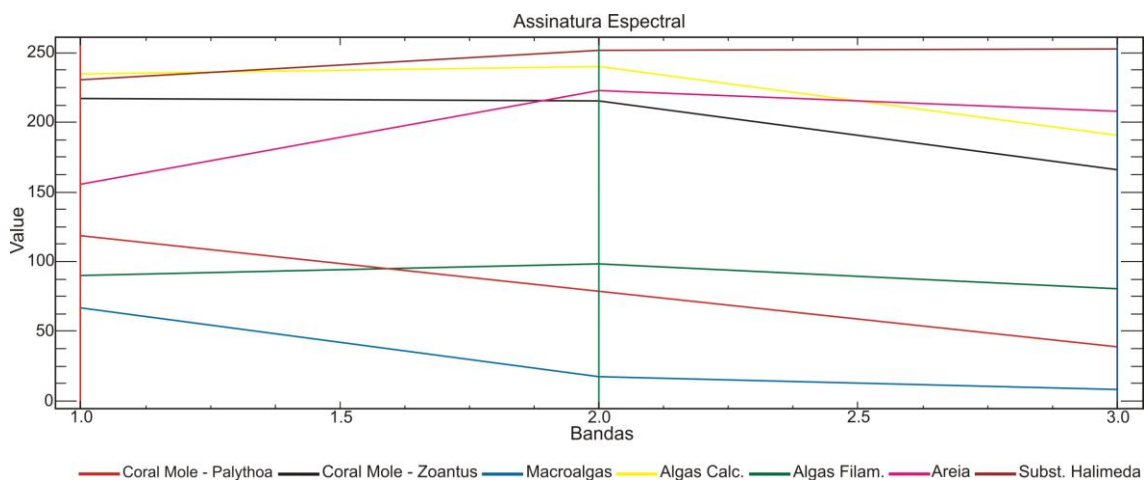


Figura 4. Composição das assinaturas espectrais observadas

Elementos com baixos valores, por exemplo, corais duros, macroalgas e as algas filamentosas, são difíceis de diferenciar com base apenas em suas respostas espectrais, além disso, uma inspeção visual in loco permitiu reconhecer as características de textura que puderam ser utilizados na interpretação da imagem. Em geral, uma imagem digital é caracterizada por tom e textura (Cuevas-Jiménez e Ardisson, 2002). Por esta razão, a

incorporação da análise da textura com o método apresentado ajudou a melhorar os resultados da classificação.

Infelizmente, dados sobre o padrão de caracterização e distribuição dos habitats recifais são quase inexistentes ou não confiáveis (Myers et al. 1999). Como este estudo é o primeiro mapeamento em nível detalhado de áreas dos recifes no Estado de Alagoas, oferece uma boa alternativa para a caracterização e avaliação da qualidade dos recifes costeiros rasos, apresentando aplicações ecológicas diretas sobre esse ecossistema, tais como: a) avaliação dos habitats recifais, o que permite identificar áreas chaves para conservação dos recursos bióticos; b) geram informação de base para classificar e caracterizar a extensão espacial de todos os habitats definidos; c) ajuda em tarefas de gestão (definição de zonas dentro de áreas recifais, definindo a distribuição e a provável abundância de qualquer dado recurso); d) caracterização das relações espaciais entre as comunidades de recifes de coral bentônicos (Garza-Pérez et al. 2004).

4. Conclusões

Esta pesquisa produziu uma classificação e discriminação precisa dos habitats. Através da aplicação apropriada de correções atmosféricas, assim como a técnica de classificação e a alta resolução espacial da imagem do satélite QuickBird, mostrou-se uma excelente ferramenta para classificação de habitats recifais, gerando um mapa significativamente acurado.

Os resultados mostram que a aplicação de técnicas de processamento digital de imagens orbitais melhora a definição dos alvos e as condições de mapeamento permitindo discriminar habitats típicos de recifes costeiros.

Outro ponto chave desta implementação de mapas e caracterização espacial dos recifes de corais é que a partir de uma área relativamente pequena, é capaz de incrementar as previsões para áreas maiores no sistema coralino e que a metodologia pode ser facilmente transportada para outras áreas de recifes.

Referências Bibliográficas

Arias-González, J. E Garza-Pérez, J. R., Lehmann, A. **Spatial prediction of coral reef habitats: integrating ecology with spatial modeling and remote sensing.** Marine Ecology Progress Series. 269: 141-152, 2004.

Bryant, D., Burke, L., Mcmanaus, J., Spalding, M. **Reef at Risk: A Map-Based Indicator of Threats to the World's Coral Reefs.** 1ª. edn. World Resources Institute. EEUU, 2000.

Connell, J. H. **Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs.** Science 199, 1302-1310p, 1978.

Cuevas-Jiménez A., Ardisson P., Condal A. **Mapping of shallow coral reefs by colour aerial photography.** International Journal of Remote Sensing, 23(18): 3697-3712, 2002.

Garza-Pérez J. R; Lehmann, A; Arias-González, J. E. **Spatial prediction of coral reef habitats: integrating ecology with spatial modeling and remote sensing.** Marine ecology Progress Series. 269: 141-152, 2004.

Green, E. P., Mumby, P. J., Edwards, A. J., & Clark, C. D. **A review of remote sensing for the assessment and management of tropical coastal resources.** Coastal Management. 24: 1-40, 1996.

Green, E.P, Mumby, P.J., Edwards, A.J.; Clark. **Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management.** Paris: Coastal Management Sourcebooks UNESCO, 316 p. 2000.

Jupp, D. L. B., Mayo, K. K., Kuchler, D. A., Classen, D. V. R., Kenchington, R. A., & Guerin, P. R. **Remote sensing for planning and managing the Great Barrier Reef of Australia.** Photogrammeria. 40: 21-42. 1985.

Laborel, J.L. E Kempf, M. **Formações de vermetos e algas calcárias nas costas do Brasil.** Trabalhos do Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de Pernambuco. p. 33-50. 1967.

Leão, Z.M.A.N., Kikuchi, R.K.P.; Testa, V. **Corals and corals reefs of Brasil.** *Latin American Coral Reefs*, p. 10-52, 2003.

Luckhurst, B. E. & Luckhurst, K. **Analysis of influence of substrate variables on coral reef fish communities.** *Marine Biology*. 49: 317-324, 1978.

Maida, M. & Ferreira, B. P. **Coral Reefs of Brazil: an overview.** Proc. 8th Int. Coral Reef Sym. 1: 263-274, 1997.

Mather, P.M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction.** 2nd ed. John Wiley & Sons. 1999.

Moreira, P. de P. **Mapeamento De Habitats do Recife de Coral Pedra de Leste, Abrolhos, Utilizando Imagens Orbitais Quickbird e Landsat7 Etm+.** 2008. 104 p.. Dissertação (Mestrado em Sistemas Aquáticos Tropicais) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus. 2008.

Mumby, P. J., Green, E.P., Clark, C.D & Edwards, A.J. **Digital analysis of multispectral airborne imagery of coral reefs.** *Coral Reefs*. 17:59–69, 1998.

Mumby, P. J., Green, E.P., Edwards, A.J. & Clark, C.D. **Coral reef habitat-mapping: how much detail can remote sensing provide?** *Marine Biology*. 130:193–202, 1997.

Mumby, P.J. & Edwards, A.J. **Mapping marine environments with IKONOS imagery: enhanced spatial resolution can deliver greater thematic accuracy.** *Remote Sensing of Environment*, v. 82, p. 248-257, 2002.

Myers, M. R., Hardy, J. T., Mazel, C. H., Dustan, P., **Optical spectra and pigmentation of Caribbean reef corals and macroalgae.** *Coral Reefs*, 18, 179–186, 1999.

Paulay, G. **Diversity and Distribution of Reef Organisms.** in: Birkeland, C. (Eds.), *Life and Death of Coral Reefs*. Chapman & Hall, New York, 298-326p, 1997.

Souter, D.W., Lindén, O. **The Health and Future of Coral Reef Systems.** *Ocean & Coastal Management* 43, 657-688p, 2000.

Zainal, A. J. M., Dalby, D. H., & Robinson, I. S. **Monitoring marine ecological changes on the east coast of Bahrain with Landsat TM.** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59, 415–421, 1993.