

## Mapeamento de manguezais e carcinicultura do Brasil com base em imagens dos satélites Landsat-8 OLI e RapidEye (ano-base: 2013)

Daniel Moraes de Freitas<sup>1</sup>  
Ana Lúcia de Araújo Ramos<sup>1</sup>  
Edson Eyji Sano<sup>1</sup>  
Kelly Borges Resende<sup>1</sup>  
Matteo Fumi<sup>2</sup>  
Frederico Fonseca Galvão de Oliveira<sup>1</sup>  
Victor Bizerra Quaresma<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA  
SCEN Trecho 2, L4 Norte - 70818-900 - Brasília - DF, Brasil  
{daniel-moraes.freitas, ana.ramos, edson.sano, kelly.borges, frederico.oliveira,  
victor.quaresma}@ibama.gov.br

<sup>2</sup> Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio  
EQSW 103/104 Bloco C Setor Sudoeste - 70670-350 - Brasília - DF, Brasil  
{matteofumi}@gmail.com

**Abstract.** The Brazilian coast presents an extension of approximately 7,500 km and a great fauna and flora biodiversity. Since 2008, a joint-cooperation between the Brazilian Institute for Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) and the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICMBio) is monitoring the occurrence of mangroves and shrimp farms in the entire country's coast using Landsat-like satellite images. This is a challenging task because of the extension of the study area and the persistent cloud cover condition in the majority of the area. This paper presents the results of mangrove and shrimp farm mapping using 30-meter spatial resolution Landsat-8 satellite images from 2013. The Landsat image interpretation was supplemented by the 5-meter pixel size, orthorectified RapidEye scenes for refinement of the boundaries of the polygons related to mangroves. The images were visually interpreted with the support of the ArcGIS 9.3 software package, using color composites of bands 6, 5 and 4 (Landsat-8) and bands 5, 4 and 1 (RapidEye) in the red, green and blue channels. Image interpretation of mangroves was validated by the field works conducted in 2014 and 2015 in the states of Paraná, Bahia and Pará. We identified a total of 1,398,960 hectares of mangroves, mostly located in the states of Maranhão (505,490 ha; 36%), Pará (390,589 ha; 28%); and Amapá (226,894 ha; 16%). Shrimp farms were found mainly in the states of Ceará (10,156 ha; 33%) and Rio Grande do Norte (9,528 ha; 31%).

**Palavras-chave:** remote sensing, mangroves, shrimp farm, sensoriamento remoto, processamento de imagens.

### 1. Introdução

Zonas costeiras, notadamente próximas às regiões estuarinas, constituem-se em um dos habitats mais apropriados para o desenvolvimento da vida marinha, por causa da abundância de alimentos, especialmente para peixes e crustáceos. Dentro deste contexto, destacam-se os manguezais que prestam importante serviço ambiental, notadamente como repositório de vida marinha (WRI, 1996). Os manguezais também são reconhecidos pela sua alta capacidade de produção fotossintética, mais produtiva, em termos de volume total, do que as algas bentônicas marinhas ou as algas associadas a recifes de corais (Alongi, 2002).

Em contrapartida, as zonas costeiras também correspondem a regiões que costumam abrigar as maiores concentrações populacionais e atividades industriais e turísticas do planeta. Isso significa que os ecossistemas estuarinos estão sob forte e constante pressão antrópica, relacionada com extrativismos animal e vegetal, canalizações, aterros e atividades portuárias, dentre outras. Esse quadro é particularmente alarmante para o Brasil, que possui uma extensão de mais de 7.500 km com ocorrências de manguezais, compreendendo desde o estado do Amapá até o estado de Santa Catarina.

A carcinicultura tem se constituído em uma das principais atividades econômicas encontradas nas zonas de ocorrência de manguezais do Brasil, especialmente na região nordeste que apresenta águas com temperaturas elevadas durante todo o ano. O berço da carcinicultura no país foi o Rio Grande do Norte. O governo potiguar criou, nos anos 1970, o Projeto Camarão como alternativa para substituir a atividade de extração de sal que estava em declínio (ABCC, 2016). O art. 11-A do Novo Código Florestal do Brasil (Lei no. 12.651/2012) regulamenta as atividades de carcinicultura na zona costeira do país, estabelecendo que elas podem ser implementadas em apicuns e salgados, desde que uma série de requisitos descritos em sete parágrafos sejam obedecidos.

O uso de imagens de satélite constitui-se praticamente na única forma de mapear e monitorar ocorrências de manguezais e atividades de carcinicultura em áreas extensas como é o caso da zona costeira do Brasil. De longe, as imagens do satélite Landsat ou similares (por exemplo, satélite sino-brasileiro de recursos terrestres – CBERS-2B) têm sido as mais utilizadas seja em escala nacional (e.g., Magris e Barreto, 2010), regional (e.g., Souza Filho, 2005) ou local (e.g., Kampel et al., 2005). As características de imageamento do Landsat, isto é, resolução espacial de 30 metros, periodicidade de 16 dias, faixa de imageamento de 185 km x 185 km e operação em seis bandas nas faixas espectrais do visível, infravermelho próximo (IVP) e infravermelho médio (IVM) favorecem os mapeamentos temáticos da superfície terrestre em escala de semidetalhe (1:50.000 a 1:250.000).

Outra opção tem sido as imagens do satélite RapidEye, que opera com resolução espacial de 6,5 metros, periodicidade de 1-2 dias, faixa de imageamento de 25 km x 25 km e cinco bandas espectrais nas faixas espectrais do visível, IVP e IVM. Embora seja um satélite comercial, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) vem adquirindo coberturas anuais e quase completa do território nacional com imagens RapidEye, com menos de 20% de cobertura de nuvens. Essas imagens, embora estejam sendo adquiridas para atender às necessidades do Cadastro Ambiental Rural, estão disponíveis para instituições públicas federais, estaduais e municipais, além de universidades públicas, mediante aprovação do cadastro de acesso às imagens na página eletrônica do Ministério (MMA, 2016). O objetivo desse estudo é apresentar os resultados do mapeamento de manguezais e carcinicultura do Brasil por meio de análise de imagens dos satélites Landsat-8 e RapidEye de 2013.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo corresponde ao litoral brasileiro que se estende desde a foz do rio Oiapoque no extremo norte do estado do Amapá (4,44° de latitude norte; 51,53° de longitude oeste) até o município de Laguna no estado de Santa Catarina (28,61° de latitude sul; 48,85° de longitude oeste). Mapeamentos anteriores conduzidos, por exemplo, por Magris e Barreto (2010) mostraram a inexistência de manguezais em latitudes inferiores a 28,6° no Brasil.

Foram analisadas uma cena do Landsat-5 *Thematic Mapper* (TM) de 2005, cinco cenas do Landsat TM de 2008, uma cena do Landsat TM de 2011 e 34 cenas do satélite Landsat-8 *Operational Land Imager* (OLI) de 2013 (órbitas: 214 a 226; pontos: 57 a 79), com cobertura de nuvens inferior a 10% dos meses de junho a outubro (Quadro 1). Não foi possível analisar todas as cenas de 2013 por problemas de cobertura de nuvens. As cenas georreferenciadas, isto é, registradas para o sistema de projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) e datum WGS84 foram obtidas da página eletrônica do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS – *United States Geological Survey*). Esse satélite foi selecionado por cobrir uma área no terreno relativamente grande de 185 km x 185 km, conforme mencionado anteriormente, o que evita a necessidade de analisar um número relativamente elevado de cenas. Além disso, a resolução espacial de 30 metros do Landsat-8 OLI permite mapear alvos com dimensões superiores a ~ 6 hectares, dependendo do contraste espectral com os alvos vizinhos. Detalhes sobre o modo de imageamento do satélite Landsat-8 podem ser



encontrados em Roy et al. (2014). Adicionalmente, foram analisadas três cenas do satélite sino-brasileiro de recursos terrestres (CBERS-2B) de 2009 e 110 cenas do satélite RapidEye de 2011 a 2014.

Quadro 1. Datas das cenas do satélite Landsat utilizadas para o mapeamento de manguezais e carcinicultura no litoral brasileiro.

Órbita	Ponto	Data de Passagem	Órbita	Ponto	Data de Passagem	Órbita	Ponto	Data de Passagem
214	64	03/12/2013	216	69	01/12/2013	220	79	14/09/2013
214	65	03/12/2013	216	70	10/07/2013	221	61	02/09/2013
214	66	03/12/2013	216	75	21/04/2013	221	62	02/09/2013
214	67	03/12/2013	216	76	14/05/2013	222	61	02/06/2013
215	64	20/08/2013	217	62	01/07/2013	223	60	02/06/2013
215	67	10/12/2013	217	76	14/05/2013	223	61	02/06/2013
215	68	02/10/2013	218	62	12/08/2013	224	60	12/07/2005
215	69	14/04/2013	218	76	06/06/2013	224	61	18/07/2013
215	70	10/12/2013	219	62	20/11/2013	225	58	08/05/2008
215	71	10/12/2013	219	76	12/05/2013	225	59	29/09/2008
215	72	14/04/2013	219	77	06/07/2013	225	60	11/07/2008
215	73	14/04/2013	220	62	02/09/2013	226	57	19/08/2008
215	74	19/07/2013	220	77	06/07/2013	226	58	19/08/2008
216	63	08/06/2013	220	78	01/06/2011			




A análise das imagens Landsat-8 OLI foi feita com base em composições coloridas RGB das bandas 6, 5 e 4, as quais obtêm imagens nas faixas espectrais do IVM (1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$ ), IVP (0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ ) e vermelho (0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ ), respectivamente. Nessa composição colorida, os manguezais aparecem com coloração verde escura, textura intermediária a rugosa e forma geométrica predominantemente alongada, pois normalmente acompanham os leitos dos rios, próximos às suas desembocaduras. A carcinicultura aparece com tonalidade azulada, textura lisa a intermediária e forma geométrica regular (Quadro 2). A delimitação das ocorrências de manguezais e de carcinicultura foi feita de forma visual e diretamente da tela de computador, com suporte do pacote computacional de sistema de informações geográficas ArcGIS 9.3. Foi utilizada a função de digitalização de polígonos com o *mouse* do computador, disponível no programa acima mencionado. A escala de visualização das imagens na tela de computador foi de 1:50.000, na maioria dos casos.

A interpretação de imagens do satélite Landsat-8 foi refinada com base nas imagens do satélite RapidEye de 2013 ou de 2011, 2012 ou 2014, dependendo da densidade de cobertura de nuvens. As cenas da constelação de cinco satélites RapidEye são obtidas com resolução espacial de 6,5 metros e reamostradas para 5 metros durante o processo de ortorretificação (registro geométrico e correção de efeitos topográficos). A análise de imagens RapidEye foi baseada nas composições coloridas RGB das bandas 5 (0,76 – 0,85  $\mu\text{m}$ ), 4 (0,69 – 0,73  $\mu\text{m}$ ) e 1 (0,44 – 0,51  $\mu\text{m}$ ). Maiores detalhes sobre esse satélite alemão podem ser encontrados em Tyc et al. (2005).

Para validar o mapeamento de manguezais, foram conduzidos trabalhos de campo com duração de uma semana nos litorais dos estados do Paraná (21 a 26 de abril de 2014), Pará e Maranhão (14 a 21 de setembro de 2014 e 15 a 28 de março de 2015) e Bahia (10 a 16 de maio de 2015). Parte das campanhas de campo foi feita via terrestre e parte via fluvial (Figura 1). Coordenadas geográficas das ocorrências representativas de manguezais foram registradas

por meio de receptores GPS (*Global Positioning System*) de navegação. Fotografias digitais panorâmicas e de detalhe foram obtidas por meio de câmeras digitais. Resultados dos mapeamentos de manguezais e de carcinicultura foram analisados com base em recortes por unidade federativa.

Quadro 2. Chave de interpretação utilizada para o mapeamento de manguezais e carcinicultura do Brasil. Nessa chave, foi incluída ainda a classe apicum/salgado que faz parte do ecossistema de manguezais, mas que não foi mapeada nesse estudo.

Classe de Mapeamento	Chave de Interpretação	Exemplo em uma composição colorida RGB/654 do satélite Landsat-8 OLI
Manguezais	<p>Coloração: verde escura</p> <p>Textura: intermediária a rugosa</p> <p>Forma geométrica: alongada, geralmente acompanhando os leitos dos rios.</p>	
Carcinicultura	<p>Coloração: azulada</p> <p>Textura: lisa a intermediária</p> <p>Forma geométrica: regular</p>	
Apicum/Salgado	<p>Coloração: esbranquiçada ou acinzentada</p> <p>Textura: lisa a intermediária</p> <p>Forma geométrica: irregular</p>	

### 3. Resultados e Discussão

Foi encontrado um total de 1.398.960 hectares de manguezais no litoral brasileiro (Figura 2). Esse resultado corresponde a 9,2% do total de manguezais do mundo (15.236.100 hectares, de acordo com Spalding et al. 2010) ou a 58,6% do total de manguezais na América do Sul (2.388.200 hectares, de acordo com os últimos autores). A área total de manguezais mapeada por esse estudo está de acordo com os valores obtidos por Spalding et al. (2010) - 1.300.000 hectares - e com os mapeamentos prévios realizados pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), os quais também foram baseados na análise de imagens do Landsat-5 TM e do CBERS-2 CCD (dados não publicados): 1.384.776 ha (2009) e 1.384.179 ha (2010).

Entretanto, a área é aproximadamente 25% superior ao encontrado por Magris e Barreto (2010) que mapearam um total de 1.114.398 hectares. Uma das causas dessa diferença pode estar relacionada com a porcentagem de área coberta com nuvens, que pode ter sido mais severa no ano de 2008.

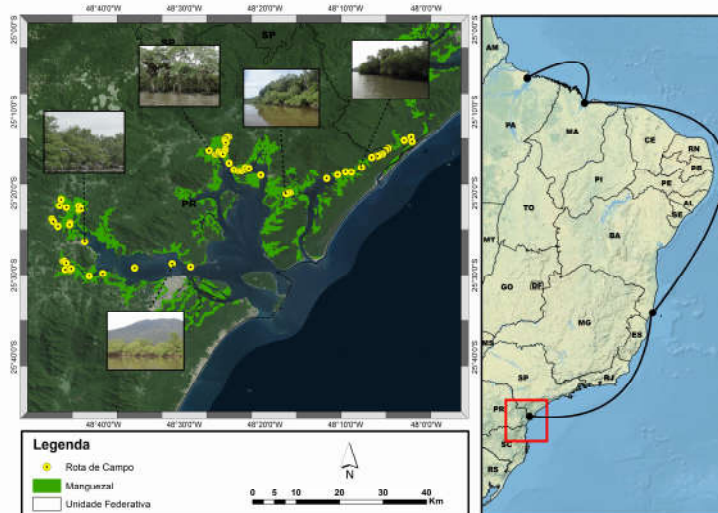


Figura 1. Localização das áreas vistoriadas para auditoria do mapeamento, distribuídas nas regiões norte, nordeste e sul.



Figura 2. Mapa de ocorrências de manguezais no Brasil, elaborado com base na interpretação visual de imagens do satélite Landsat-8 de 2013. As maiores ocorrências encontram-se nos estados do Amapá, Pará, Maranhão e Bahia.

Oitenta por cento das áreas de manguezais do Brasil estão concentrados nos complexos deltaicos de três estados da região norte do país (Tabela 1): Maranhão (36%), Pará (28%) e Amapá (16%). Essa região é caracterizada por um clima úmido, com precipitação média anual variando de 1.200 mm a 2.800 mm, flutuação de marés acima de 4 metros e altas taxas de deposição de sedimentos. Perdas de áreas de manguezais nessa região geralmente possuem escala local, relacionadas com agricultura de subsistência e movimentos naturais de dunas de

areias (Spalding et al., 2010). Considerando-se a baixa densidade populacional dessa região, pode-se afirmar que os manguezais dessa região estão entre os mais conservados do mundo.

Tabela 1. Ocorrência de manguezais por unidade federativa do Brasil.

Estado	Área (ha)	Porcentagem (%)
Maranhão	505.490	36
Pará	390.589	28
Amapá	226.894	16
Bahia	89.932	6
Paraná	31.199	2
Sergipe	26.543	2
São Paulo	22.287	2
Ceará	19.518	1
Pernambuco	17.173	1
Rio de Janeiro	13.779	1
Rio Grande do Norte	13.535	1
Paraíba	12.565	1
Santa Catarina	10.401	1
Espírito Santo	7.971	1
Piauí	5.549	0,4
Alagoas	5.535	0,4
TOTAL	1.398.960	100

As áreas de carcinicultura foram encontradas principalmente nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, com 33% e 31% da área total encontrada no país (total de 30.475 hectares) (Figura 3; Tabela 2). Ao comparar com os dados do Levantamento da Carcinicultura 2011 produzidos pela Associação Brasileira de Criadores de Camarões (ABCC, 2016), percebe-se que as áreas de carcinicultura obtidas pela associação encontram-se subestimados em relação aos dados obtidos por esse estudo: em 2011, foram encontrados 22.231 ha de área total de carcinicultura no Brasil. Diferenças metodológicas podem explicar esse resultado, além do fato de que nem todos os produtores de camarões são associados. O estado do Maranhão, apesar de ter apresentado apenas 471 ha de carcinicultura, tem sido apontado pela ABCC (2016) como a região mais promissora para aquicultura de camarão, por causa da sua dimensão e qualidade dos recursos naturais, o que permitiria o país a superar a China como o maior produtor e exportador de camarões do mundo. Em contrapartida, uma expansão rápida, focada apenas em questões econômicas, pode causar danos ambientais irreversíveis nesse ecossistema em consideração.

#### 4. Conclusões

Resultados desse estudo identificaram um total de aproximadamente 1,4 milhões de hectares de manguezais e um total de aproximadamente 30,5 mil hectares de carcinicultura. A região norte do país destacou-se por apresentar as maiores concentrações de manguezais do Brasil, enquanto que a região nordeste, em especial, os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte destacaram-se por apresentar as maiores concentrações de carcinicultura do Brasil. O uso de imagens do satélite RapidEye, de forma complementar às imagens do satélite Landsat-8 OLI, permitiram uma melhor definição dos contornos dos polígonos associados a áreas de manguezais.

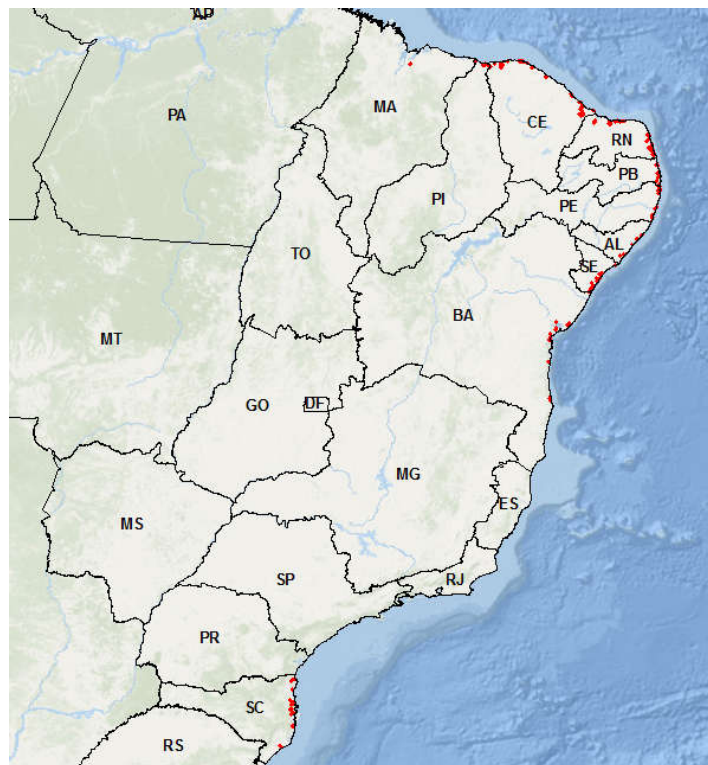


Figura 3. Mapa de ocorrências de carcinicultura no Brasil, elaborado com base na interpretação visual de imagens do satélite Landsat-8 de 2013. Verifica-se que as maiores ocorrências encontram-se nos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte.

Tabela 3. Ocorrência de carcinicultura por unidade federativa do Brasil.

Estado	Área (ha)	Porcentagem (%)
Ceará	10.156	33
Rio Grande do Norte	9.528	31
Bahia	3.023	10
Pernambuco	1.747	6
Piauí	1.634	5
Sergipe	1.496	5
Paraíba	1.201	4
Santa Catarina	1.080	4
Maranhão	471	2
Alagoas	139	0
TOTAL	30.475	100

### Agradecimentos

Ao GEF Mangue, pelo suporte financeiro para os trabalhos de campo, contratação de consultores que auxiliaram na interpretação de imagens e correção topológica dos mapas temáticos em formato shapefile, além da compra de equipamentos de informática e de campo. À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao ICMBio/Paranaguá-PR e ao ICMBio/Porto



Seguro-BA pelo suporte logístico nos trabalhos de campo. À Andrea A. Corrêa e ao Rodrigo A. Souza pela colaboração nas campanhas de campo.

### Referências Bibliográficas

ABCC. Associação Brasileira de Criadores de Camarões. **História da carcinicultura no Brasil**. Disponível em: <<http://abccam.com.br/site/historia-da-carcinicultura-no-brasil/>>. Acesso em: 17 out. 2016.

Alongi, D. M. Present state and future of the world's mangrove forests. **Environmental Conservation**, vol. 29, n. 3, p. 331-349, 2002.

Kampel, M.; Amaral, S.; Soares, M. L. G. Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multi-temporal de manguezais no Nordeste brasileiro. Um estudo no litoral do Estado do Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, GO. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 979-986, 2005.

Magris, R. A.; Barreto, R. Mapping and assessment of protection of mangrove habitats in Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, vol. 5, n. 4, p. 546-556, 2010.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Geocatálogo. Catálogo de imagens de satélite RapidEye do Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://geocatalogo.mma.gov.br/>>. Acesso em: 17 out. 2016.

Rodrigues, J.; Borba, M. **Carcinicultura brasileira: estatísticas e revelações**. ABCC News, p. 40-42. Disponível em: <[http://abccam.com.br/site/wp-content/uploads/2013/12/Carcinicultura-Brasileira\\_-\\_Estat%C3%ADsticas-e-Revela%C3%A7%C3%B5es-ABRIL-2013.pdf](http://abccam.com.br/site/wp-content/uploads/2013/12/Carcinicultura-Brasileira_-_Estat%C3%ADsticas-e-Revela%C3%A7%C3%B5es-ABRIL-2013.pdf)>. Acesso em: 17 out. 2016.

Roy, D. P.; Wulder, M. A.; Loveland, T. R.; Woodcock, C. E. et al. Landsat-8: science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, vol. 145, p. 154-172, 2014.

Souza Filho, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 23, n. 4, p. 427-435, 2005.

Spalding, M.; Kainuma, M.; Collins, L. **World Atlas of Mangrove**. Londres: EarthScan, 319 p.

Tyc, G.; Tulip, J.; Schulten, D.; Krischke, M.; Oxfort, M. The RapidEye mission design. **Acta Astronautica**, vol. 56, p. 213-219, 2005.

WRI. World Resources Institute. **World Resources 1996-1997**. Oxford: Oxford University Press, 365 p.