

Paulo Roberto Lopes Thiers
Antônio Jeovah Andrade Meireles
Jader de Oliveira Santos

Manguezais na costa oeste cearense

Preservação permeada
de meias verdades


Imprensa
Universitária


COLEÇÃO
DE ESTUDOS DA
PÓS-GRADUAÇÃO


EDIÇÕES
UFC

Manguezais
na costa oeste cearense

preservação permeada de meias verdades

Presidente da República

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Ministro da Educação

José Mendonça Bezerra Filho

Universidade Federal do Ceará - UFC

Reitor

Henry de Holanda Campos

Vice-Reitor

Custódio Luís Silva de Almeida

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação

Prof. Antônio Gomes de Souza Filho

Pró-Reitora de Administração

Prof.^a Denise Maria Moreira Chagas Corrêa

Imprensa Universitária

Diretor

Joaquim Melo de Albuquerque

Conselho Editorial

Presidente

Prof. Antonio Cláudio Lima Guimarães

Conselheiros

Prof.^a Angela Maria R. Mota Gutiérrez

Prof. Ítalo Gurgel

Prof. José Edmar da Silva Ribeiro

**Paulo Roberto Lopes Thiers
Antônio Jeovah Andrade Meireles
Jader de Oliveira Santos**

Manguezais

na costa oeste cearense

preservação permeada de meias verdades



Fortaleza
2016

Manguezais na costa oeste cearense: preservação permeada de meias verdades
Copyright © 2016 by Paulo Roberto Lopes Thiers, Antônio Jeovah Andrade Meireles e
Jader de Oliveira Santos

Todos os direitos reservados

IMPRESSO NO BRASIL / PRINTED IN BRAZIL

Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC)
Av. da Universidade, 2932, fundos – Benfica – Fortaleza – Ceará

Coordenação editorial

Ivanaldo Maciel de Lima

Revisão de texto

Yvantelmack Dantas

Normalização bibliográfica

Marilzete Melo Nascimento

Programação visual

Sandro Vasconcellos / Thiago Nogueira

Diagramação

Víctor Alencar

Capa

Heron Cruz

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Bibliotecária Marilzete Melo Nascimento CRB 3/1135

T438m Thiers, Paulo Roberto Lopes.
Manguezais na costa oeste cearense: preservação permeada de meias verdades /
Paulo Roberto Lopes Thiers, Antônio Jeovah Andrade Meireles e Jader de Oliveira
Santos. - Fortaleza: Imprensa Universitária, 2016.
126 p. : il. ; 21 cm. (Estudos da Pós-Graduação)

ISBN: 978-85-7485-245-4

1. Ecossistema. 2. Manguezal. 3. Preservação ambiental. I. Thiers, Paulo Roberto
Lopes. II. Meireles, Antônio Jeovah Andrade. III. Santos, Jader de Oliveira. IV. Título.

CDD 577

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	7
MANGUEZAIS E SUAS PRINCIPAIS	
CARACTERÍSTICAS	11
Legislação para Proteção ao Ecossistema Manguezal.....	15
Funções e Serviços Socioambientais dos Manguezais	17
CENÁRIOS SOB REVISÃO	23
Quantificação das áreas de manguezais no estado do Ceará (Brasil) através de sensoriamento remoto	24
Manguezais do Brasil	25
Evolução das áreas de manguezal do litoral Nordeste brasileiro entre 1978 e 2004.....	28
MODERNAS TÉCNICAS PARA A PRODUÇÃO	
DA INFORMAÇÃO ESPACIAL	33
Sensoriamento remoto.....	33
ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DE	
MANGUEZAIS NA COSTA OESTE CEARENSE	49
Classificações e análises para as Áreas de Manguezal na Costa Oeste Cearense	50
ANÁLISES DE RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO E	
DISCUSSÕES COM TRABALHOS CORRELATOS.....	87
Análise e comparação com trabalhos correlatos.....	96
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

APRESENTAÇÃO

Os polos turísticos e econômicos nas faixas de praia da costa oeste cearense, nos núcleos urbanos de Chaval, Barroquinha, Camocim, Trairi, Paracuru, Jijoca de Jericoacoara, Paracuru e Caucaia, aceleram os processos de especulação imobiliária e, por consequência, podem causar degradação ao meio ambiente. Esses polos apresentam potencial de ampliação de suas áreas urbanas e expansão de atividades de turismo, de pesca, de exploração de sal, petróleo e de carcinicultura. Contudo, exigem, para isso, infraestrutura de suporte que impõe fortes impactos ambientais.

Face à necessidade de crescimento e desenvolvimento socioeconômico da região, é urgente que se imponham ações para estabelecer procedimentos e regulações para o desenvolvimento sustentado, pois entende-se a biodiversidade desse ecossistema como a base para a soberania alimentar dos povos do mar e das atividades socioeconômicas associadas a esse ecossistema, justificando a necessidade de sua preservação. O cumprimento da legislação ambiental, educação ambiental e a consecução da funcionalidade sistêmica são essenciais à *Preservação e Recuperação do Ecossistema Manguezal*.

A estrutura metodológica e os resultados apresentados orientaram a abordagem para fundamentar a necessidade de consolidar ações voltadas para a definição da dinâmica espaço-temporal e para a formulação de políticas públicas que visem ampliar as funções socioambientais desse ecossistema. Desta forma, tomamos como marco da produção de informações espaciais o ano de 1978 como referência para a quantificação de áreas de manguezais no litoral do Ceará através do

Projeto RADAMBRASIL, difundidas por trabalho de Herz (1991), que utilizou imagens adquiridas por radar de visada lateral, método considerado revolucionário na época.

Outros trabalhos correlatos foram produzidos (MIRANDA; MARTINS; SOARES, 1988; MONTEIRO et al. 2005) para quantificação de áreas de bosques de mangues, na costa oeste do Estado do Ceará. Entretanto, observa-se que os resultados apresentados são formados por valores muito díspares entre si, o que desperta o interesse de compreender as causas das discrepâncias, relativamente grandes: imprecisões e susceptibilidades a erros por limitações inerentes aos métodos, algoritmos e produtos empregados na abordagem quantitativa podem justificar esses desvios?

Em face da constatação desses desvios, partiu-se da assertiva de Monteiro et al. (2005), segundo a qual, no período de 1978 a 2005, as áreas de manguezais na costa cearense cresceram em percentuais superiores a 38% (trinta e oito pontos percentuais) mesmo, enfatize-se, com acréscimos de construções de novos viveiros de camarão, empreendimentos turísticos, ocupação urbana e impactos de diversas ordens que, certamente, podem contribuir para o comprometimento da qualidade de ambientes estuarinos. A assertiva causa perplexidade, pois é fácil o entendimento de que todos os referidos tensores interferem na funcionalidade e serviços ambientais que esses ecossistemas desempenham, independentemente da capacidade de resiliência que possuem.

A assertiva suscitou questionamentos que conduziram ao desenvolvimento de estudos da dinâmica evolutiva das áreas de manguezais da costa oeste cearense para o período compreendido de 1978 a 2008, sobre imagens orbitais e aéreas de média e alta resolução espacial, respectivamente, com a aplicação de método de *Análise de Imagens Baseada em Objeto* (OBIA, sigla em inglês para *Object Based Image Analysis*).

Que causas poderiam justificar e esclarecer discrepâncias, que fogem à racionalidade e à compreensão, entre resultados de trabalhos com respeito a questionamentos, naturalmente formulados, acerca da ampliação de áreas de manguezais no recorte temporal de 1978 a 2004, mesmo com a edificação de novas áreas de fazendas de camarão e outros tensores presentes. Será que diferentes métodos, algoritmos e

técnicas utilizados nos trabalhos citados justificariam resultados tão discrepantes com a realidade?

Objetivamente, com o fim de equacionar as questões formuladas, foram produzidas informações geográficas dos estuários investigados com classificação das áreas de bosques de mangues executada em aplicativo de sensoriamento remoto, sobre ortofotos de altíssima resolução espacial (2m) e imagens orbitais de média resolução espacial (30m) da missão LANDSAT 5 e sensor TM. A respectiva quantificação das classes de mangues foi realizada em aplicativo SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Para a investigação do objeto da pesquisa, houve imposição de rigor metodológico e maior profundidade teórica na extração de informações sobre imagens digitais, para produção de resultados de qualidade superior aos produtos gerados através de métodos que se utilizaram de classificadores tradicionais, por exemplo. Entretanto, em tempo, enfatize-se que cada método tem suas próprias características e peculiaridades, que se refletem nos resultados.

A abordagem na classificação de imagens utilizando regras e experiência do especialista (fotointérprete) demanda tempo e acarreta subjetividade por exigência de padronização e uniformização de critérios. De outra forma, os métodos que se utilizam dos classificadores tradicionais e orientados a pixel levam em conta as características da informação espectral do *pixel* e, por isso, podem apresentar resultados não satisfatórios se utilizados para mapeamento de área, por exemplo, muito fragmentada.

A quantificação das áreas de bosques de mangues da pesquisa foi efetuada em ambiente SIG, utilizando os segmentos (polígonos) gerados pelo método de análise de imagem orientada a objeto – OBIA –, que representa o *Estado da Arte* na definição das classes dos bosques de mangues para o entendimento da dinâmica evolutiva dos ambientes estuarinos da costa oeste cearense.

MANGUEZAIS E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

Os nutrientes encontrados nos manguezais, advindos de grande quantidade de matéria orgânica, contribuem para a produtividade primária, alimentando grandes populações de crustáceos, peixes, moluscos e aves, nativas e migratórias. Os manguezais, em consequência, servem de berçários naturais, ou seja, ambientes para reprodução e criadouro. Esse ambiente apresenta solo úmido, pobre em oxigênio, salgado, argiloso e com odor caracterizado pela decomposição de matérias orgânicas. Conta ainda com pequena declividade e baixa variação de altitude relativamente ao nível médio dos mares.

Caracterizado como um dos ecossistemas de maior produtividade, o mangue tem sua biodiversidade favorecida por sua estrutura para alimentação, desova, reprodução, fuga de predadores e condições favoráveis ao crescimento de diversas espécies.

Para Lacerda (2002), 85% das áreas de manguezais do litoral brasileiro estão concentradas na região norte do país, onde as florestas de mangue poderiam se estender por mais de 40km em estuários e por cursos de rios, onde árvores atingem diâmetros de 1m e 40m de altura. Na faixa litorânea entre o Ceará e o Rio de Janeiro, o porte das árvores das florestas de mangue é menor e, estruturalmente, menos complexo. Observa-se, também, que as florestas se desenvolvem, geralmente, como estreitas franjas ao longo de estuários e deltas, e, raramente, atingem mais de 15m.

Conceitualmente, o ecossistema manguezal, comumente denominado de mangue, tem terminologias distintas. A palavra

“mangue” é atribuída à flora vegetal característica desse *habitat*, que ocorre em regiões tropicais e subtropicais do planeta. A cobertura vegetal de áreas de manguezais, na costa brasileira, está distribuída ao longo da faixa litorânea que vai do estuário do rio Oiapoque, Parque Nacional do Cabo Orange, no Amapá, até Laguna, em Santa Catarina.

Segundo Silva e Herz (1987), em geral, os manguezais mantêm temperaturas diferenciadas em relação à mata costeira com respeito à variação diurna da temperatura: temperaturas mais elevadas foram observadas nos espaços ocupados por mangues. As temperaturas elevadas no ecossistema manguezal são resultantes da umidade em suspensão, que proporciona a absorção parcial de radiações do infravermelho, agregada à energia acumulada pelo substrato negro, que é originado da decomposição e oxidação da biomassa.

A cobertura vegetal dos manguezais tem o atributo de estabilizar a linha de costa e, dessa forma, impedir a erosão. Em decorrência da ação das marés de água salgada, há a predominância de vegetais halófilos com formação de raízes longas e aéreas.

A vegetação de mangue encontrada na costa cearense é composta de três tipos: *Rhizophora mangle*: mangue-bravo ou vermelho; *Avicennia schaueriana* e *Avicennia germinans* popularmente conhecido por mangue preto ou seriúba; e *Laguncularia racemosa*: mangue-branco. A *Rhizophora mangle* possui raízes aéreas e ocorre em solos com características lodosas e de pouca declividade; a *Laguncularia racemosa* é espécie que está associada a solos firmes, com formação arenosa, e ocorrem em terrenos com topografia mais elevada. O mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) é caracterizado pela madeira forte, comumente utilizada na construção de habitações, podendo ser encontrado nas formas arbórea e arbustiva, e localiza-se nas porções de baixas e médias salinidades.

Em consonância com a legislação e devido aos serviços e funções desempenhados por esse ambiente, foram realizados diversos trabalhos para mapeamento e quantificação das áreas ocupadas por manguezais em todo o planeta, entre os quais Miranda; Martins e Soares, (1988), Herz (1991) e Monteiro et al. (2005).

O manguezal é ambiente que se desenvolve em áreas de desembocaduras de rios e às margens de reentrâncias costeiras, que apresentam características de alagado, resultante da mistura de águas continentais e marinhas pela ação das correntes geradas por propagação das marés. O ecossistema manguezal tem influência das marés e dos rios, responsáveis por estabelecer o tempo de cobertura e a qualidade da água, além de fazer a troca regular de matéria orgânica. A vegetação de mangues necessita de água doce, apesar de se desenvolver em ambientes com salinidade que varia entre 5 e 25%.

O apicum é formado por áreas consideradas hipersalinas e desprovidas de vegetação arbórea ou arbustiva, que ocorrem na transição da região entre marés e terra firme. Os apicuns, em tese, podem ser considerados como zonas de retração de bosques de mangue, no caso de elevação do nível do mar, e são reservatórios de nutrientes que merecem atenção com respeito ao manejo da zona costeira. O apicum é zona de transição, de solo, geralmente, arenoso.

Alguns autores consideram o apicum como extensão do ecossistema manguezal (SCHAEFFER-NOVELLI; CINTRÓN, 1999), sendo motivação de polêmica para grupos que defendem a sua utilização na carcinicultura. Já Meireles et al. (2007) afirmam que o apicum é utilizado por comunidades tradicionais para a pesca e coleta de crustáceos, assumindo, também, outras funções e serviços ambientais.

As transformações do ecossistema manguezal, consequências de impactos ambientais – entendidas por alterações na forma de uso do solo desmatamento, lançamento de efluentes industriais e domiciliares, consumo e esgotamento dos recursos naturais –, refletem na sustentabilidade e comprometem a riqueza natural, reduzindo o bem-estar social das comunidades costeiras (RIVERA; CORTÉS, 2007; MEIRELES; CAMPOS, 2010). O ecossistema manguezal é marco da produtividade primária e da biodiversidade: conservar e recuperar suas funções e serviços representa importante estratégia para a gestão integrada dos complexos estuarinos.

A atividade da carcinicultura, que exige desmatamento da cobertura vegetal dos mangues para implantação de criatórios, é avaliada por impactos ambientais e externalidades negativas, associadas

a danos cumulativos em áreas de influência direta e indireta dos empreendimentos. Realista visão transmitem Meireles e Campos (2010) acerca das *externalidades ambientais*, que são relacionadas à degradação do ecossistema manguezal e, certamente, da biodiversidade e qualidade de vida das comunidades litorâneas. Citam os autores que as atividades de carcinicultura interferem na qualidade da água, privatizam territórios de usufruto comunitário e alteram as atividades de pesca e mariscagem, além de promover riscos à segurança alimentar das comunidades tradicionais e étnicas. Observam, ainda, que as interferências na dinâmica do ecossistema manguezal irão se associar ao incremento do nível do mar e a danos aos ambientes utilizados por aves migratórias, em especial aos complexos estuarinos em estudo, a médio e longo prazo.

Os impactos sobre os manguezais são intensos e em graus diversificados, causados por subtração de vegetação para projetos de implantação de empreendimentos imobiliários e turísticos, podendo trazer a reboque, quase sempre, o aporte de aglomerados urbanos sem estrutura de funcionamento: ausência de saneamento, de água canalizada, de sistema viário e de outros serviços essenciais aos aglomerados urbanos.

Guimarães (2007) descreve fatos ricos em detalhes que explicam como ocorreram as ocupações em áreas de mangues desde a colonização, com a instalação dos primeiros núcleos populacionais. As populações utilizaram as florestas de mangues para extração de lenha, produção de carvão, extração do tanino para tingir couro, e pesca artesanal.

Ainda segundo Guimarães (2007, p. 7), a corte portuguesa, no século XVIII, determina que áreas de manguezais sejam protegidas, proibindo a extração de árvores para fins distintos da utilização da extração do tanino. Entretanto, observa que a “[...] destruição e a degradação dos manguezais praticamente iniciaram-se a partir da colonização europeia, aumentando após a Segunda Guerra Mundial, quando os assentamentos litorâneos expandiram-se e as regiões costeiras tornaram-se mais industrializadas”.

Com a ampliação dos aglomerados urbanos, reduziam-se as áreas de manguezais, por vezes, irreversivelmente. Por volta da metade do século XIX, afirma Guimarães (2007, p. 18) que:

[...] as atividades antrópicas sobre os manguezais estavam praticamente restritas aos efeitos da descarga de efluentes de natureza doméstica e, mais remotamente, à erosão nas áreas agrícolas, que ocasionavam maior transporte de sedimentos para os rios. A partir de meados do século passado, entretanto, houve enorme expansão dos complexos industriais instalados nas proximidades dos estuários (com fabricação de grande diversidade de materiais e substâncias), da agricultura (com a utilização de fertilizantes e defensivos agrícolas), da construção de barragens para a instalação de usinas hidroelétricas e da indústria pesqueira, conseqüentemente, acarretando na expansão populacional das cidades próximas aos estuários, colocando em risco o desenvolvimento sustentável desses ambientes.

As estimativas disponíveis na literatura indicam que entre 35 e 50% das áreas de manguezais de todo o mundo já foram perdidas em função da ocupação desordenada da zona costeira (BARBIER et al., 2009). Historicamente, os manguezais têm sido explorados como fonte de madeira, e representam a subsistência para as populações formadas nos aglomerados urbanos por toda a faixa litorânea brasileira. Nesta faixa, o litoral da região sudeste foi o que sofreu maiores impactos por causa da urbanização e da industrialização.

Legislação para Proteção ao Ecossistema Manguezal

A legislação ambiental estabelece que as florestas e as demais formas de vegetação são bens de interesse comum a todos os habitantes do País e que são áreas de preservação permanente, significando que têm “[...] a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas” (Código Florestal Brasileiro, Lei nº 4771/65, § 2º, II).

Camargos (2007, p. 4) faz referência a aspectos jurídicos que deveriam ser observados quanto às distintas intervenções impactantes, diferenciando aquelas “[...] i) provenientes dos grandes centros urbanos e industriais, que são altamente degradantes; e ii) aquelas que são praticamente insignificantes como, por exemplo, as que provêm de populações

tradicionais, e que se utilizam dos recursos dos mangues para sobrevivência”. Embora, entende-se, não caiba diferenciação de intervenções impactantes em áreas de vegetação de áreas de manguezais, face à sua importância para o bioma. Ambos os tipos de intervenções impactantes, citadas por Camargos (2007), são degradantes e atingirão, indubitavelmente, o mesmo fim. Enfatize-se a indagação do mesmo autor com respeito a que instrumentos jurídicos disponíveis deveriam ser utilizados para a efetiva proteção e preservação do ecossistema manguezal, com vistas ao desenvolvimento sustentável para um meio ambiente ecologicamente equilibrado, como garante o Art. 225 da Constituição Federal (BRASIL, 1988).

O Código Florestal – Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965, não faz referência à vegetação de manguezal; mas a Resolução CONAMA nº 303 estabelece definição legal para manguezal, em toda a sua extensão, como Área de Preservação Permanente (APP). De outra forma, a Resolução CONAMA nº 302, já havia estabelecido que Áreas de Preservação Permanente têm funções de “[...] preservar os recursos hídricos, a paisagem natural, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações” (BRASIL, 2002, p. 1).

A legislação brasileira (Código Florestal Brasileiro, Lei nº 4771/65, Art. 4º) estabelece a possibilidade de que a supressão de vegetação em áreas de APPs “[...] poderá ser autorizada em caso de utilidade pública ou de interesse socioeconômico [...]”. Embora o Código Florestal Brasileiro garanta que as situações deverão ser caracterizadas e motivadas por procedimentos administrativos que indiquem a inexistência de alternativa técnica e de localização ao empreendimento proposto, fica patente a fragilidade da legislação para suporte jurídico a esse ecossistema.

A Resolução CONAMA nº 312, de 10 de outubro de 2002, estabelece diretrizes para licenciamento ambiental com vistas à implantação de empreendimentos de carcinicultura por considerar que a atividade de carcinicultura pode ocasionar impactos ambientais nos ecossistemas costeiros; que os manguezais são importantes ecossistemas exportadores de matéria orgânica para águas costeiras, o que faz

com que tenham papel fundamental na manutenção da produtividade biológica; e que as áreas de manguezais, já degradadas por projetos de carcinicultura, sejam passíveis de recuperação.

Essa resolução veda, em seu Art. 2º, a atividade de carcinicultura especificamente em áreas de manguezal e, também, no § 2º, cita que “no processo de licenciamento será considerado o potencial de produção ecologicamente sustentável do estuário ou da bacia hidrográfica definida pelo Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE)”. O Art. 6º da mesma resolução determina que:

[...] as áreas propícias à atividade de carcinicultura serão definidas no Zoneamento Ecológico-Econômico, ouvidos os Conselhos Estaduais e Municipais do Meio Ambiente, e em conformidade com os Planos Nacionais, Estaduais e Municipais de Gerenciamento Costeiro.

Em decorrência das limitações legais e das funções e serviços ambientais que o manguezal exerce, as atividades produtivas e, em especial, a carcinicultura, devem ser cuidadosamente planejadas considerando sua capacidade de homeostase e resiliência.

Funções e Serviços Socioambientais dos Manguezais

Qualitativamente, a lista de funções e serviços identificada para complexos estuarinos está diretamente relacionada à cadeia trófica de espécies de importância econômica e ecológica com vistas à conservação dos estoques pesqueiros, além de garantia para abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação de espécies de aves migratórias. Ressalte-se que, além de definir o suporte ecossistêmico para as aves migratórias, as funções estabelecem as condições ideais para *habitat* de espécies em extremo risco de extinção e protegidas por lei, p. ex., peixe-boi marinho e tartarugas marinhas (MEIRELES; CAMPOS, 2010).

Com a definição da área total do ecossistema manguezal, e sua evolução espaço-temporal, poderão ser geradas informações para quantificação dos serviços ambientais, possibilitando evidenciar, a partir de então, a necessidade de complementos metodológicos que

forneçam suporte às demais categorias associadas ao estudo da paisagem, e que impõem embasamento de caráter interdisciplinar. No quadro 1 agrupam-se os tipos de serviços e funções do ecossistema manguezal, associados a complexos estuarinos, genericamente, os indicadores estão associados à diversidade morfológica, aos ecossistemas, ao uso tradicional, à forma de extrativismo, aos vínculos locais e regionais (MEIRELES; CAMPOS, 2010).

Constata-se que os serviços e funções definidos no quadro 1, estão, também, diretamente relacionados à segurança alimentar e integrados ao modo de vida tradicional das comunidades litorâneas de pescadores, ribeirinhos e marisqueiras (MEIRELES; CAMPOS, 2010). Além disso, a cobertura vegetal dos manguezais tem atributo de estabilizar a linha de costa e, dessa forma, impedir a erosão.

QUADRO 1 – SERVIÇOS E FUNÇÕES DO ECOSISTEMA MANGUEZAL E ASSOCIAÇÕES COM OS COMPLEXOS ESTUARINOS

SERVIÇOS	FUNÇÕES	COMPLEXOS ESTUARINOS
Produção e regulação dos gases	Regulação da composição química atmosférica (balanço de CO_2/O_2 ; Níveis de SO_x). Produção de gases nas fases de decomposição da matéria orgânica.	Captura de carbono, geralmente na forma de dióxido de carbono, associada à evolução do bosque de mangue (CO_2/O_2); produção de metano e demais compostos através das fases de oxidação e redução.
Regulação do clima	Temperatura global, precipitação e processos biológicos mediadores de fenômenos climáticos locais e globais (regula o efeito estufa).	Ameniza as condições climáticas locais através das rajadas de vento direcionadas pelo canal estuarino e bosque de mangue, com influência no microclima, evapotranspiração e fotossíntese.
Suplemento de água	Armazenamento e retenção da água (dinâmica dos aquíferos e reservatórios). Conjunto de aquíferos associados aos componentes morfológicos do sistema costeiro.	Interconexões com os aquíferos dunar e tabuleiro litorâneo; regula as propriedades físico-químicas através dos níveis de salinidade e densidade entre os aquíferos. Disponível para as comunidades tradicionais através de poços e quando o freático aflora originando lagoas interdunares e sobre o tabuleiro. Fluxo subterrâneo de água doce na direção dos vales estuarinos.
Proteção da costa contra extremos climáticos, deslizamentos, enchentes	Amortecimento e integridade das respostas ecossistêmicas associadas às flutuações ambientais (proteção contra tormentas, enchentes, controle na produção de sedimentos finos e variabilidades ambientais da estrutura vegetal); capacitância.	Conjunto de componentes integrados com a evolução dos bancos de areia, produção e distribuição de sedimentos areno-argilosos e dinâmica da cobertura vegetal. Fluxos de matéria e energia consumidos e dissipados através da relação com os demais componentes geoambientais e ecodinâmicos. Flechas de areia que induziram alterações morfológicas associadas à deposição de sedimentos no interior dos canais e na plataforma continental.

SERVIÇOS	FUNÇÕES	COMPLEXOS ESTUARINOS
Regulação hidrológica	Atua nos fluxos hidrológicos integrados com a bacia hidrográfica: água para atividades agrícolas e industriais, transporte.	Eventos pluviométricos de elevada turbulência (primeiro semestre) amortecidos e distribuídos sobre o bosque de mangue e setores de apicum; sazonalidade climática integrada com as atividades de subsistência ao longo da bacia hidrográfica (plantio de vazantes, pesca e mariscação); disponibilidade de água para as atividades de produção de camarão em cativeiro e sal; interliga as comunidades litorâneas através dos canais estuarinos e gâmbos.
Controle da erosão e retenção de sedimentos	Conservação do solo dentro do ecossistema (prevenção de deslizamentos e outros processos de remoção de materiais). Fonte de sedimentos para a deriva litorânea e amortecimento de eventos extremos.	Produção de sedimentos através da dinâmica interna dos canais com a evolução dos bancos de areia. Desenvolvimento das flechas de areia dispostas nas desembocaduras dos complexos estuarinos. Aporte de areia sazonal vinculado aos sistemas fluviomarinhos e praial. Paisagem resguardada para atividades tradicionais de pesca, moradia e lazer.
Formação de solo	Através do intemperismo e transporte de materiais derivados das rochas do embasamento cristalino à montante, de matéria orgânica e de biodetritos.	Evolução pedológica relacionada com a dinâmica de aporte e distribuição de sedimentos provenientes da bacia hidrográfica e dos demais fluxos de matéria e energia definidos na planície costeira. Contribuição diferenciada e relacionada com acesso das dunas aos complexos estuarinos e deriva litorânea.
Ciclagem de nutrientes	Armazenamento, ciclagem interna, processamento e aquisição de nutrientes (fixação de N, P e outros elementos do ciclo de nutrientes).	Os complexos estuarinos integram-se para a produção de nutrientes representando a base da biodiversidade regional deste setor do litoral nordestino.
Dissipador de matéria e energia	Recuperação, remoção e controle do excesso de nutrientes e compostos orgânicos (controle de poluentes).	A dinâmica das marés e correntes marinhas interliga os complexos estuarinos, efetivando a distribuição de nutrientes e suporte à biodiversidade. Atuam como filtro para as emissões de efluentes domiciliares dos núcleos urbanos e vilas de pescadores.
Polinização	Movimento de gametas para a reprodução de populações.	Os fluxos de matéria e energia proporcionam interconexões entre os ecossistemas proporcionando elevado potencial de produção e distribuição de plântulas e polens (predominantemente pelos fluxos eólico, fluvial, fluviomarinho e deriva litorânea).
Controle biológico	Regulação da dinâmica trófica de populações.	Complexa cadeia alimentar com suporte para o peixe-boi marinho e aves migratórias. Biodiversidade inserida nas atividades tradicionais de pescadores, marisqueiras e ribeirinhos.
Refúgio de vida silvestre	<i>Habitat</i> para populações residentes e migratórias (acolhida de aves migratórias).	Complexos estuarinos associados à elevada diversidade de avifauna; suporte ecossistêmico para as aves migratórias. Utilizado pelo peixe-boi marinho para alimentação, reprodução e refúgio.

SERVIÇOS	FUNÇÕES	COMPLEXOS ESTUARINOS
Produção de alimento	Parte da produção primária bruta transformada em alimento (peixes, moluscos) pelas atividades de pesca e agricultura de subsistência.	Conjunto de componentes ecológicos (bosque de mangue, apicum/plâncias hipersalinas e lagoas) vinculados à produção de componentes bioquímicos para a produção e distribuição de nutrientes para uma diversificada fauna e flora. Atividades humanas inseridas na complexa cadeia alimentar que envolve localmente os estuários. Interação das atividades de produção de alimento realizada através da interconexão entre o baixo e médio curso fluvial.
Segurança alimentar	Produção de alimento para as comunidades tradicionais litorâneas, ribeirinhas e indígenas. Atividades materializadas nos territórios de moradia e convivência com os sistemas ambientais de usufruto e nas artes de pesca.	Plena inserção das comunidades no ecossistema manguezal com as atividades de pesca e mariscação. Instrumentos e apetrechos ancestralmente construídos para o manejo e conservação da biodiversidade. Renda familiar e inserção na cadeia produtiva local através das associações comunitárias.
Produção primária	Parte da produção primária bruta transformada em matéria prima (madeira, combustível e forragem).	Reações geoambientais e ecodinâmicas associadas à formação, disseminação e consumo (produção de matéria orgânica) do bosque de mangue e demais componentes florísticos existentes no apicum. Vínculos complexos com a produção pesqueira, aves migratórias, peixe-boi marinho. Base da permanência dos grupos sociais que encontram na produtividade dos manguezais segurança alimentar.
Recursos genéticos	Produção de materiais e recursos biológicos para medicina, material científico, obtenção de genes resistentes a pragas e espécies ornamentais.	Usos tradicionais da fauna e flora. Atividades de pesquisa para a criação de Unidade de Conservação (UC) de proteção integral. Abordagem integrada evidenciando os complexos estuarinos limite dos bosques mais exuberantes entre o norte e nordeste do Brasil.
Recreação	Oportunidades para atividades recreacionais (ecoturismo, pesca esportiva e outras atividades ao ar livre).	Atividades de lazer desenvolvidas pelos núcleo urbano e comunidades tradicionais. Atividades turísticas envolvendo lugares inseridos em rotas internacionais.
Cultura	Proporciona oportunidades para atividades não comerciais (estéticas, artísticas, educacionais, espirituais e de valor científico dos ecossistemas).	Valores simbólicos relacionados aos demais usos tradicionais. Base do modo de vida das comunidades litorâneas. Atividades ancestrais associadas aos apetrechos de pesca.
Amortecimento das consequências previstas pelo aquecimento global	Funções e serviços atribuídos pelo INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.	Os complexos estuarinos atuam como sistemas responsáveis pela manutenção das propriedades amortecedoras dos efeitos projetados pelo aumento da temperatura média e subida do nível do mar (erosão costeira, incremento dos extremos climáticos associados às precipitações pluviométricas, salinização do lençol freático e mudanças na dinâmica de produção e distribuição de nutrientes, entre outros).

Fonte: Adaptada de Meireles e Campos (2010).

Foi a partir da Revolução Industrial que a natureza, efetivamente, passou a fornecer matérias-primas para o desenvolvimento e bem-estar da espécie humana em quantidades superiores à sua capacidade de reconstituição. A agressão aos recursos naturais está diretamente relacionada com os meios de produção.

Segundo Jara (1999), o modelo de desenvolvimento econômico atual tem comprometido a qualidade de vida da humanidade, gerando preocupações quanto ao seu futuro, em face de aceleradas degradações ambientais: neste modelo prevalece, unicamente, a dimensão econômica. Por outro lado, um modelo de desenvolvimento econômico voltado para aquisição de suprimento alimentar e melhoria da qualidade de vida das populações *versus* conservação dos recursos naturais, passa pela questão do desenvolvimento sustentável.

Buarque (1999) enfatiza que desenvolvimento sustentável não deve ser, somente, mais um modismo ou uma ideia brilhante, mas uma construção para organizar uma nova postura da sociedade diante dos desafios do presente e do futuro, consistente com um novo paradigma de desenvolvimento. Exigem-se transformações culturais e de comportamento dos indivíduos, implicando um processo educativo de construção coletiva do qual os atores sociais e institucionais sejam os protagonistas.

CENÁRIOS SOB REVISÃO

A pesquisa da literatura acerca de trabalhos relacionados à dinâmica evolutiva do ecossistema manguezal nos estuários da costa cearense (MIRANDA; MARTINS; SOARES, 1988; HERZ, 1991; MONTEIRO et al., 2005), permitiu analisar e interpretar metodologias, técnicas, materiais empregados e resultados. A revisão dos cenários estabelecidos em números e formas, apresentados nos trabalhos acima referidos, forneceu elementos com vistas ao entendimento do tema pesquisado, com foco nos métodos e técnicas utilizados como referência.

Ficou constatado que cada um dos trabalhos analisados utilizou metodologia e material distintos. Os autores Miranda, Martins e Soares (1988) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto e análise visual sobre cópias analógicas de imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 relativas aos anos de 1984, 1985 e 1986. Enquanto o trabalho para mapeamento de Manguezais do Brasil, de Herz (1991), utilizou para produção da base de dados espaciais, imagens de radar obtidas por sensor de visada lateral na banda X, para o projeto RADAMBRASIL, de 1978. Na época, a sua utilização representava avanço tecnológico sem precedentes

Já Monteiro et al. (2005) utilizaram imagens orbitais do sensor ETM+, transportado pelo LANDSAT 7 e sensor TM no satélite LANDSAT 5 em composições coloridas RGB: 432, 543, 321 e 752, e imagens de altíssima resolução espacial dos satélites IKONOS e QUICKBIRD. Para o processamento digital das imagens foram aplicadas técnicas de filtragem e classificação por análise e interpretação.

Quantificação das áreas de manguezais no estado do Ceará (Brasil) através de sensoriamento remoto

Para o levantamento e quantificação de áreas de manguezais do litoral cearense, Miranda, Martins e Soares (1988) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto e análise visual sobre cópias analógicas de imagens orbitais coletadas pelo sensor TM a bordo do satélite LANDSAT 5 para os anos de 1984, 1985 e 1986.

Informam os autores que foi adotada a análise automática de fitas de dados observados brutos para identificação:

[...] dos padrões de resposta espectral dos mangues nas diversas bandas TM. Para tanto, utilizou-se o sistema SITIM-150 o qual possibilitou, através da função “Leitura de Pixel”, o registro da variação de níveis de cinza dos mangues nas diferentes faixas espectrais (MIRANDA; MARTINS; SOARES, 1988, p. 4).

As imagens das bandas 5, 4 e 3, que foram utilizadas na composição colorida em R5G4B3 para a identificação de áreas de manguezais, passaram por processamento digital para realce por contraste, com vistas à classificação automática. A quantificação das áreas foi realizada analogicamente e os resultados estão distribuídos consoante a Tabela 1.

TABELA 1 – ÁREA DE BOSQUES DE MANGUES

Estuário	Mangues (ha)
Timonha/Ubatuba	9725,6
Remédios	1190,7
Coreaú	3137,5
Acaraú/Zumbi	3372,5
Aracatimirim	0
Aracatiaçu	672,5
Mundaú	1122,5
Curu	0
Ceará	675,0
Total (ha)	11493.75

Fonte: Miranda, Martins e Soares (1988).

Concluem os autores que os estuários dos rios Aracatimirim, Curu e Choró não apresentaram vegetação de mangue e que:

[...] com as observações realizadas em campo pode-se afirmar que, de um modo geral, os manguezais encontrados na região metropolitana de Fortaleza, ou seja, nos estuários dos rios Ceará, Cocó e Pacoti, apresentam feições bastante modificadas, principalmente em decorrência de ações predatórias antrópicas. Por outro lado, vale ressaltar que os demais manguezais encontram-se relativamente em bom estado de conservação, destacando-se dentre eles, o manguezal do rio Timonha (MIRANDA; MARTINS; SOARES, 1988).

Manguezais do Brasil

O Projeto RADAM – Radar na Amazônia priorizava a coleta de dados para mapeamento integrado dos recursos naturais: solos, vegetação, uso da terra e cartografia da Amazônia. Os bons resultados motivaram a expansão para imageamento em todo o território brasileiro, criando-se o Projeto RADAMBRASIL.

A identificação das unidades de domínio dos mangues foi efetuada visualmente nas fotocartas geradas a partir das imagens de radar na escala 1/250.000.

Os produtos gerados pelos sensores de radar têm vantagens se comparados a outros produtos gerados por sensores que trabalham em outras faixas do espectro eletromagnético: aquisição de imagens sem presença de nuvens e com a capacidade de imageamento independente de horário. A resolução espacial do sensor de radar utilizado no Projeto RADAMBRASIL é de 16 metros, consoante IBGE, com representação em escala de tonalidade monocromática.

Informam os autores que as imagens de radar foram utilizadas para a geração de mosaicos semicontrolados na escala 1:250.000 e 1:100.000, editados em papel comum e fotográfico, e articulados conforme o Mapa Índice de Referência (MIR) do IBGE, para disponibilização ao público (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2012).

A caracterização do modelo metodológico, adotado por Herz (1991), indica que a variação do sinal de retorno é classificada, e sua distribuição é feita em relação à tonalidade monocromática, recebendo ainda, em sua estrutura, a variável que organiza a textura da imagem em face da dinâmica topográfica da superfície. Enfatiza Herz (1991) que o contraste entre os padrões estruturais de imagem destaca diferentes unidades do terreno, de acordo com a compartimentação geológica/geomorfológica e, conseqüentemente, das formações superficiais associadas à vegetação predominante.

Para Herz (1991, p. 39) “[...] a análise visual de imagens de radar adota os fundamentos clássicos da fotointerpretação, buscando analisar os seus componentes de textura e tonalidade para definir as unidades homogêneas do espaço”. As imagens de radar são capazes de discriminar a presença de vegetação, avaliada por sua altura, em face da medição da diferença do pulso do sinal emitido com o sinal refletido do mesmo pulso.

Com ênfase na textura, as imagens são realçadas por contraste, utilizando polarização cruzada que potencializa a escala de cinza para relações tonais específicas, que caracterizam a separação de padrões em áreas pouco florestadas e de textura fina, onde as diversidades tonais indicam a variedade dos tipos de vegetação.

A interpretação visual para imagens de radar tem abordagem diferenciada para a análise de funções de forma, textura e tonalidade, em face da posição relativa do iluminante e dos efeitos intrínsecos às superfícies imageadas. A interação das microondas da banda X, com as ondas eletromagnéticas do espectro da luz solar, ocorre de forma peculiar: os mesmos objetos, em fotografias aéreas, são representados na imagem de radar completamente diferentes, visto que a ação das microondas com a superfície revela detalhes não aparentes em imagens aéreas obtidas em faixas do espectro visível (HERZ, 1991).

Em sua pesquisa, Herz (1991) constatou que a análise das imagens de radar da costa brasileira permitiu identificar unidades com tonalidades de cinza muito claras, quase brancas, que se destacaram de unidades de textura média e tonalidade de cinza média nas formações

sedimentares de reduzida dinâmica topográfica. Herz e Jaskow (1985) entendem que as unidades identificadas pelas tonalidades de cinza claras correspondem aos terraços marinhos holocênicos, ocupados por manguezais. Dizem ainda que esse efeito é decorrente das propriedades físicas da superfície com concentrações salinas e teores de umidade, por constantes inundações – grande intensidade do sinal refletido, devido a sua alta condutividade.

Esclarece Herz (1991) que teorias clássicas, acerca da interação de ondas eletromagnéticas da região das microondas com alvos naturais não explicam, cientificamente, com base na dinâmica da superfície imageada, porque essa superfície reflete o fluxo eletromagnético em intensidades diferenciadas.

Os ecossistemas de manguezais estão localizados em superfícies planas, que se destacam em áreas de imagem marcadas por tonalidade cinza de baixa densidade. Herz (1991) esclarece que cinco classes texturais são distinguíveis na classificação dos padrões de interpretação visual, consoante experiências de aplicações de imagens de radar.

Para a zona costeira, desde o litoral sul de Santa Catarina, segundo Herz (1991), há coleção de fotocartas com contrastes “marcados” entre mata costeira e manguezais; embora afirme o autor que, em alguns casos, pode haver confusão para a separação destes últimos das formações arenosas de praias e dunas, que resultam em tonalidades de baixa densidade.

A quantificação das unidades de mangues foi obtida por meio de pontos de contagem, método que apresentou “[...] excelente índice de correlação pela amostragem comparativa com outros métodos de avaliação”, afirma Herz (1991, p. 14). Trabalhos publicados por Herz (1984, p. 14) confirmam que houve “[...] eficiência nos cálculos de áreas ocupadas pelos manguezais em escala de mapeamento de 1/250.000, tendo por base as fotocartas (mosaicos semicontrolados) editadas pelo projeto RADAMBRASIL (1978)”. Pretende-se fazer a classificação orientada a objetos para validação dos resultados obtidos por Herz (1991, p. 15), utilizando as mesmas imagens de radar em meio digital, cujos resultados serão apresentados e analisados no capítulo 5, que fará análises e discussões dos resultados.

A Tabela 2 contém os valores observados na pesquisa feita por Herz (1991), e que representam o marco na questão da quantificação de áreas de manguezais no Brasil.

TABELA 2 – VALORES OBSERVADOS PARA BOSQUES DE MANGUES POR HERZ (1991)

Estuário	Mangues (ha)
Timonha/Ubatuba	3400,00
Remédios	456,25
Coreaú	2618,75
Acaraú/Zumbi	3268,75
Aracatimirim	131,25
Aracatiaçu	300,00
Mundaú	656,25
Curu	62,50
Ceará	600,00
Total (ha)	11493.75

Fonte: Thiers (2013).

Evolução das áreas de manguezal do litoral Nordeste brasileiro entre 1978 e 2004

Para o mapeamento temático dos manguezais no Estado do Ceará, Monteiro et al. (2005) utilizaram imagens digitais multiespectrais dos sensores ETM+ e TM, de média resolução espacial (30m), transportados pelos satélites LANDSAT 7 e LANDSAT 5, respectivamente. O sensor ETM+ tem a banda pancromática com resolução de 15m, que pode ser utilizada para a fusão com outras bandas para aumentar a resolução final. Além das imagens das missões LANDSAT, foram utilizadas imagens de alta resolução geométrica: IKONOS e QUICKBIRD, com 1m e 0,60m, respectivamente.

Para o georreferenciamento das imagens orbitais foi adotado o sistema de referência geodésica SAD69 (sigla em inglês para Datum Sul Americano 69). Para o processamento digital das imagens (filtragem, fusão e composições coloridas das imagens orbitais LANDSAT

432, 543, 321 e 752), foi utilizado o software comercial ENVI 3.5 (sigla em inglês para Ambiente para Visualização de Imagens).

Em complemento, informam os autores que as imagens dos sensores de alta resolução dos satélites IKONOS e QUICKBIRD foram fusionadas com resolução 1m e 0,60m, respectivamente, sendo geradas composições coloridas com as 3 bandas de cada sensor, na faixa do visível (RGB). Segundo os autores, a integração de dados georreferenciados foi realizada através do software ArcGIS versão 8.1 e esclarecem que na análise visual:

[...] foram realizados os procedimentos de análise e interpretação das assinaturas espectrais predominantes e a seleção das composições coloridas das bandas para a geração de imagens com caráter multiespectral. Do conjunto de imagens coloridas, foram interpretadas aquelas que proporcionaram melhor distinção das unidades de paisagem, levando em consideração as áreas de manguezais e áreas de ocupação pela carcinicultura (MONTEIRO et al., 2005, p. 21).

[...] essas imagens coloridas, quando combinadas às imagens provenientes das filtragens direcionais, contribuíram na detecção visual de linhas e bordas, provavelmente marcadoras das bordas entre as unidades. Nas imagens digitais monocanais e coloridas resultantes, foram aplicados os procedimentos de interpretação visual, na intenção de que as variações na cor, brilho e intensidade dos pixels colaborassem na determinação espacial detalhada dos elementos da paisagem (MONTEIRO et al., 2005, p. 21).

Monteiro et al. (2005) afirmam que a quantificação dos valores observados para áreas de interesse (Tabela 3), aqui compreendidas pelos complexos estuarinos da costa oeste cearense, foi feita na base de dados espaciais gerada na plataforma SIG:

[...] associando os valores das datas recentes com Herz (1991) que, utilizando as fotocartas editadas pelo projeto RADAMBRASIL de 1978, documentou o estudo dos mangues

brasileiros em um macrozoneamento apresentado na escala de 1:250.000, onde ele delimita e aplica cálculos de área através de técnicas de imageamento remoto nas regiões ocupadas por manguezais (*sic*) (MONTEIRO et al., 2005, p. 23).

Ressalte-se que Herz (1991) efetuou o cálculo dos bosques de mangues aplicando o método Pontos de Contagem, sobre as fotocartas de escala 1:250.000, e deixa claro que os resultados obtidos foram avaliados como de boa acurácia. Essa análise será efetuada com mais critério no capítulo referente às considerações finais.

Segundo os autores, as informações restringem-se à foz de rios, lagunas e lagamares, sendo que, na distribuição de manguezais, as maiores áreas ocorrem no estado do Ceará, com destaque para as dos complexos estuarinos dos rios Timonha/Ubatuba (61km²) e do rio Coreaú (35km²).

Os resultados apresentados no trabalho representam distribuição dos manguezais como áreas verdes, e faz comparação com valores observados por imagens de radar em Herz (1991) e por Freire e Oliveira (1993). A avaliação da evolução das áreas de manguezal feita em Monteiro et al. (2005) constata que há variação, por incremento, entre 15 e 38% na área total (Tabela 3).

TABELA 3 – EVOLUÇÃO DE ÁREAS DE MANGUEZAIS

ESTADO	Áreas (km ²)			Variação (km ²)		Variação (%)	
	A - HERZ (1978)	B - FREIRE E OLIVEIRA (1993)	C - ESTE ESTUDO (1999-2004)	C - A	C - B	C → A	C → B
Ceará	132,00	229,40	172,17	40,17	-57,23	30,43%	-24,95%

Fonte: Adaptada de Monteiro et al. (2005).

Entendem os autores da pesquisa que a variação, por acréscimo, nas áreas de manguezal poderá ser atribuída a diversos fatores:

- a) Salinização generalizada dos estuários, face ao aumento da taxa de açudagem;
- b) Mudanças climáticas globais (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001; LACERDA; MARINS, 2002; MARINS et al. 2003; MARINS; DIAS, 2003);
- c) Diminuição do fluxo de água doce do continente para o oceano, favorecendo a penetração das águas salinas sob o regime local de mesomares (SOUZA; KNOPPERS, 2003) e;
- d) Aumento da deposição de sedimentos finos em áreas protegidas de estuários, favorecendo a colonização por manguezais.

Monteiro et al. (2005) esclarecem que, em nível local, entretanto, o aumento das áreas de manguezal não pode ser generalizado, e constataram que em algumas áreas os aumentos foram maiores que a média. Em outras, ocorreu uma diminuição substancial dos manguezais. Enfatizam que:

[...] na região de Guaraíras, RN, por exemplo, a abertura do sistema lagunar local e sua conseqüente salinização resultou em um aumento significativo da área de mangues passando de 4,5 km² para 14,5 km², um aumento de mais de 300%, quando comparados aos resultados de Herz (1991) com os deste estudo. Note-se que na região também aumentaram significativamente as áreas de carcinicultura (MONTEIRO et al., 2005, p. 23).

Entendem os autores que a perda de bosques de mangues no litoral do nordeste é passivo ambiental, certamente decorrente de expansão urbana e processos degradacionais gerados por intervenção antrópica, notadamente com a implementação e equipamentos turístico-imobiliários e carcinicultura.

MODERNAS TÉCNICAS PARA A PRODUÇÃO DA INFORMAÇÃO ESPACIAL

Sensoriamento remoto

A técnica de sensoriamento remoto tem grande destaque na produção da informação geoespacial. Os sistemas sensores espectrais e hiperespectrais permitem aplicação, como no infravermelho termal, para a obtenção de informações detalhadas sobre a composição de materiais terrestres (rochas, solos, vegetação, água etc.) e de processos ambientais. São fontes de informações para geração de bancos de dados espaciais sobre recursos naturais e condições ambientais terrestres, precisos e representativos, permitindo o seu gerenciamento através de *softwares* de SIG (CRÓSTA, 1993).

Já os sistemas de radar, que operam na região das microondas, têm a capacidade de penetração em áreas com cobertura de nuvens e em regiões de densa cobertura vegetal. Suprem deficiência onde o sensoriamento remoto ótico não é eficaz. Por outro lado, o radar interferométrico possibilita a geração de modelos digitais do terreno com relativa precisão. Imagens ASTER, produzidas pelo sensor a bordo do satélite Terra e administrada pela NASA (sigla em inglês para Administração Aeronáutica e Espacial Nacional), coleta dados estéreos com resolução de 15m no visível e Infravermelho Próximo (INR), que podem ser usadas para produzir MDEs (sigla para Modelos Digitais de Elevação), e utilizados para ortorectificar imagens do IKONOS, por exemplo, a baixo custo operacional.

Segundo Crósta (1993), Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite a obtenção de informações dos recursos naturais por meio de sensores colocados em plataformas aéreas e/ou orbitais. A informação sobre objetos/fenômenos é caracterizada em imagens digitais através de suas propriedades físicas e químicas.

Os sensores remotos orbitais produzem imagens do tipo: pancromática multiespectral e hiperespectrais. As imagens pancromáticas cobrem todo o espectro eletromagnético, enquanto que as imagens multiespectrais e hiperespectrais são adquiridas em diferentes partes do espectro eletromagnético, variando do visível ao infravermelho próximo, médio e de comprimento de onda curto, chegando até o infravermelho termal e microondas.

Os dados de imagens brutos devem sofrer transformações, através de técnicas de Processamento Digital de Imagens, antes de serem utilizados para a geração da base de dados de SIG e para produção de informações geoambientais. O Processamento Digital de Imagens: pré-processamento, processamento de cores, realçamento de contraste, filtragem espacial, manipulações espectrais e classificação permite tratar os dados brutos para:

[...] facilitar a identificação e a extração da informação contida na imagem. Neste sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas (CRÓSTA, 1993, p. 17).

Em sensoriamento remoto, no processamento digital de imagens, são utilizadas técnicas de processamento de imagens, técnicas de realce e técnicas de classificação. As técnicas de pré-processamento referem-se ao conjunto de operações para corrigir as deficiências geométricas, radiométricas e atmosféricas que resultam em erros ou distorções dos dados que degradam a qualidade das imagens orbitais. Portanto, para a produção de bases de dados espaciais, haverá a necessidade de fazer correções de erros e ruídos causados na aquisição da imagem, com vistas à obtenção de produtos cartográficos com a qualidade preconizada.

Caracterização e processamento de produtos de sensores remotos

Para o processamento e extração das informações nas bases de dados espaciais a serem construídas, são reunidos conhecimentos, formulados em rotinas, para alcançar objetivos estabelecidos: aquisição das informações ambientais por processamento digital dos dados contidos nas imagens orbitais do sensor TM do programa LANDSAT 5, correspondentes ao período compreendido entre os anos de 1985 e 2008.

A técnica de sensoriamento remoto tem experimentado avanços no desenvolvimento de sensores cada vez mais potentes para obtenção de imagens orbitais. As imagens com altas resoluções – espacial, radiométrica, espectral e temporal – associadas às modernas técnicas de processamento digital são utilizadas em aplicações para análise e levantamento de recursos naturais.

A imagem digital é constituída pelo arranjo de elementos (dígitos) sob a forma de malha ou grade regular, representadas por colunas e linhas. Na imagem, o menor elemento da grade é chamado de *pixel* (abreviação em inglês para a contração *picture element*).

Em síntese, a imagem digital pode ser descrita como uma matriz bidimensional $f(x,y)$, onde os valores de f são resultantes da intensidade (brilho) que corresponde a medidas discretas de radiância espectral dos materiais da área correspondente ao *pixel*, denominadas de Nível de Cinza ou DN (sigla em inglês para *Digital Number*), que variam do preto ao branco (CRÓSTA, 1993).

Novo (2008) cita que as características de importância para o processamento digital de imagens são:

- a) a resolução espectral, diz respeito ao número de bandas e as regiões a que se referem;
- b) a resolução espacial dos dados, corresponde ao tamanho do *pixel* (em metros);
- c) a resolução radiométrica, é o número de elementos discretos que representa o brilho de cada *pixel*;
- d) os dados auxiliares que permitirão sua correção radiométrica e geométrica.

Simplificadamente, a resolução espectral diz respeito à habilidade para separar objetos espectralmente semelhantes. Corresponde à quantidade de canais espectrais que um sensor possui, visto que, quanto maior o número de canais, maior a capacidade de discriminação de objetos em determinado comprimento de onda. No primeiro instante, a resolução espectral do sensor especifica o número de bandas. O número de bandas é aspecto importante da resolução espectral e a posição da banda no espectro eletromagnético é, também, relevante: a) alta resolução espectral: 220 bandas; b) resolução espectral média: 3-15 bandas; c) resolução espectral baixa: 3 bandas.

Para a extração da informação espacial “[...] um dos fatores de importância para a escolha da imagem mais adequada a um projeto de levantamento de recursos terrestres é a resolução espacial” (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2001, p. 16), que corresponde à capacidade do sensor de discriminar objetos espacialmente próximos, que também pode ser chamada de resolução geométrica. A referência da resolução espacial é o *pixel*, que é o menor elemento de uma imagem digital.

Os sensores orbitais são projetados para observar objetos na superfície terrestre com determinado nível de detalhe espacial e, quanto maior a resolução espacial de uma imagem, maior sua capacidade de registrar detalhes dessas feições (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2001). Para Ponzoni, Galvão e Epiphanyo (2001), na classificação de imagens para a definição das classes de feições a serem mapeadas, a resolução espacial deve ser levada em conta, visto que interfere na determinação da área mínima da classe a ser mapeada.

A resolução radiométrica de uma imagem é o número de níveis digitais que indica os níveis de cinza (brilho) necessários para representar a variação do sinal dos dados coletados. Para Jensen (2009), é definida como a sensibilidade de um sensor relativa às diferenças na potência do sinal, à medida que registra o fluxo radiante refletido, emitido, ou retroespalhado pelo terreno, e que tem influência na habilidade do analista para medir as propriedades dos objetos.

Os sistemas sensores mais comuns, como os da série LANDSAT e SPOT, lançados nos anos 80, registravam a energia refletida com resolução de 8 bits (valores variando de 0 a 255). Com a evolução dos equipamentos sensores, as resoluções radiométricas foram melhoradas, permitindo registrar a energia refletida ou emitida dos objetos com precisão de 11, 12 bits ou, até mesmo, 16 bits (sensor ALI, do EO-1) (NOVO, 2008; CRÓSTA, 1993).

Os dados obtidos por determinado sensor podem ser adquiridos com determinada resolução radiométrica (sensibilidade), e disponibilizado para o usuário em outra resolução radiométrica, principalmente para fazer face à capacidade operacional com relação a software de processamento digital de imagens. Segundo Jensen (2009), uma alta resolução radiométrica, geralmente, aumenta a probabilidade de que os fenômenos possam ser avaliados com maior exatidão pelo sensoriamento remoto. As características radiométricas dos dados de sensores podem ser expressas em número de bits utilizados para registrar a discretização do brilho registrado em cada pixel da imagem – 12 bits permite registrar o sinal em valores de níveis de cinza. No mercado estão disponíveis sensores hiperespectrais que possuem resolução radiométrica que podem atingir até 4095 valores de níveis de cinza.

A capacidade de revisita do sensor a um mesmo local, em um determinado intervalo de tempo, é a resolução temporal. Corresponde à frequência com que imageia determinada área, podendo ser referida como periodicidade ou repetitividade. A resolução temporal do LANDSAT TM é de 16 dias, enquanto que a resolução temporal do SPOT é de 26 dias. Há sensores modernos que possuem resoluções temporais maiores: Worldview2, resolução temporal de 1,1 dias; e Geoeye-1, aproximadamente 3 dias.

A resolução temporal tem importância para estudos relacionados a monitoramento das alterações das paisagens na superfície terrestre. Sensores que apresentam a capacidade de imageamento fora do nadir, ou seja, quando a tomada da cena não é obtida verticalmente (o eixo ótico do sensor forma ângulo com a vertical do lugar), possuem a capacidade de repetição do imageamento de determinada área em tempo inferior ao de sensores que não possuem

essa característica. A possibilidade de repetição do imageamento é definida como capacidade de revisita.

A escolha de imagens digitais para a geração de base de dados espaciais é feita consoante a finalidade da aplicação, uma vez que não existe na legislação brasileira normas que padronizem a relação Escala X Exatidão Cartográfica X Resolução Espacial. A qualidade posicional é a maior preocupação para quem produz mapeamento, e depende de método, *software* e *hardware* utilizados. Em complemento, o adequado emprego de ferramentas de estatística traduzirá a qualidade do mapeamento: acurácia e precisão. Oportunamente, ressalte-se que são conceitos empregados, muitas vezes, erroneamente: acurácia e exatidão são sinônimos e diferem do termo precisão.

Enfatize-se que a precisão está vinculada apenas a efeitos aleatórios, e diz respeito à dispersão do conjunto das observações com relação ao valor médio determinado. A precisão utiliza o desvio padrão (σ – sigma) como inferência do grau de espalhamento de um conjunto de medidas. Por outro lado, a acurácia ou exatidão, vincula-se a efeitos aleatórios e sistemáticos.

Medidas que contém erros sistemáticos não são de fácil identificação, e podem ser geradas a partir de instrumentos descalibrados ou desretificados. Entretanto, quando os erros sistemáticos são identificados, podem ser modelados e corrigidos. Ao contrário dos erros aleatórios que, para avaliação e estimativa, devem ser tratados estatisticamente.

Para Andrade (1998), pode-se alcançar a Exatidão com a eliminação de erros sistemáticos, que podem ter origem nos instrumentos de medição, nas técnicas de medição e nos modelos matemáticos utilizados para obtenção e processamento dos dados observados. Ainda segundo Andrade (1998), todos os instrumentos utilizados para observações de dados, para qualquer sistema de medição, devem passar por retificação/calibração. Para a eliminação dos erros sistemáticos de um conjunto de dados observados devem-se determinar os parâmetros de configuração do sistema de medição para corrigir os erros sistemáticos instrumentais.

Em Cartografia e Geodésia, a acurácia posicional ou exatidão posicional, pode ser definida como o parâmetro de qualidade que indica o afastamento, em unidades de medida, do objeto em relação à sua posição real na superfície terrestre.

Para utilização em várias aplicações, as imagens de sensoria-mento devem sofrer correções radiométricas e geométricas. Imagens adquiridas por sensores remotos podem conter erros sistemáticos: geométricos e radiométricos causados pelo posicionamento do satélite, movimentos de rotação/translação e curvatura da Terra, falhas instrumentais no sensor, na transmissão dos dados, limitações inerentes ao processo de imageamento devido à atmosfera e outras causas. A interferência da atmosfera na aquisição de dados pode gerar degradações que afetam os valores dos *pixels* na imagem, e dizem respeito a: 1) diminuição do contraste entre objetos na imagem; 2) possibilidade reduzida na diferenciação entre objetos que apresentam pequenas variações na intensidade de sinal.

Para Novo (2008), mais claramente, os efeitos atmosféricos sobre as imagens digitais geram erros radiométricos que se relacionam a: 1) a distribuição de níveis digitais dentro de uma imagem não corresponde à distribuição de radiância ou brilho da cena imageada; 2) a variação relativa de nível digital num dado pixel, em diferentes bandas, não corresponde ao comportamento espectral dos alvos da cena.

Um dos fatores que gera degradação e compromete a análise e interpretação de imagens orbitais é a interferência atmosférica. Trata-se de distorções espectrais causadas pelo espalhamento da radiação eletromagnética devido à interação com a atmosfera. O efeito devido ao espalhamento atmosférico causa adição de valores à resposta espectral original. A intensidade da interferência atmosférica depende do comprimento de onda, afetando distintamente a cada uma das bandas espectrais. Mais claramente, os efeitos atmosféricos ocorrem com maior intensidade em faixas do espectro eletromagnético de menores comprimentos de onda.

O processamento digital visa fazer correções radiométricas/atmosféricas em imagens originais para facilitar a análise e interpretação. As correções podem ser efetuadas a partir de modelos matemáticos, utilizando parâmetros atmosféricos: dados meteorológicos correspondentes à hora e data da passagem do satélite. Entretanto, a utilização de modelos matemáticos é de difícil aplicação, face à dificuldade de obtenção dos referidos parâmetros. Para tanto, foram desenvolvidas técnicas de correção atmosférica com bons resultados que consistem na

identificação, na imagem, de áreas com sombras de relevo, sombras de nuvens ou corpos límpidos d'água, para os quais se assume possuírem radiância zero, e os valores de níveis de cinza não nulos encontrados nesses alvos, são considerados provenientes do efeito aditivo do espalhamento atmosférico. Dessa forma, o menor valor medido em cada banda espectral, nessas áreas, é subtraído dos valores digitais de toda a cena, na respectiva banda.

Há, potencialmente, muito mais fontes de distorções geométricas de dados de imagem do que distorções radiométricas, e seus efeitos são mais severos: a) a rotação da Terra durante a aquisição da imagem; b) o amplo campo de vista de alguns sensores; c) a curvatura da Terra; variações na altitude da plataforma, altitude e velocidade; e d) efeitos panorâmicos relativos à geometria do imageamento (RICHARDS, 1995).

A correção geométrica remove os erros residuais decorrentes dos erros sistemáticos acima citados, e estabelece uma relação geométrica entre os elementos discretos da imagem (*pixel*) e os respectivos posicionamentos sobre a superfície terrestre, vinculados a uma projeção cartográfica. Na correção de distorções geométricas ocorre um novo arranjo na distribuição dos *pixels* na imagem. Há uma transferência dos valores de intensidade dos *pixels* da imagem original para a imagem corrigida, exigindo-se que sua intensidade seja recalculada.

As operações aritméticas: i) adição; ii) subtração; iii) multiplicação e; iv) divisão/razão espectral de diferentes canais da mesma cena são utilizadas em análises multitemporais com base no realce das diferenças de várias coberturas terrestres.

A razão entre bandas ou razão espectral produz imagens com resultados que refletem as verdadeiras características da superfície observada, reduzindo distorções advindas da diferença de iluminação causadas pelo efeito da topografia na resposta espectral: processam-se valores relativos (razões) em vez dos valores absolutos de luminosidade, assim as variações na iluminação da cena resultantes dos efeitos topográficos são reduzidas. A razão espectral é procedimento utilizado para ressaltar a reflectância de áreas com vegetação com vistas à determinação de índices de biomassa, área foliar, detecção de patologias, dentre outras (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2001).

Para Richards (1995), a extração de informações de imagens digitais pode ser realizada de duas formas, genericamente. Uma é a análise quantitativa, realizada através do uso de computador e que examina as características do conjunto de *pixels* na imagem. A outra forma de extração de informações da imagem envolve o analista humano/fotointérprete, que extrai informações pela inspeção visual da imagem baseado em conhecimento e regras do especialista.

O sucesso da interpretação visual da imagem depende da experiência do analista que vai explorar, efetivamente, as informações espaciais levando em conta a forma, tamanho, orientação e textura do objeto. A mudança de uma época para outra pode, efetivamente, ser usada pelo fotointérprete na discriminação, p. ex., de vegetação recente de tipos perenes. Para Souza et al. (2009), o processo de classificação utilizando regras e experiência do especialista (fotointérprete), demanda tempo e torna-se subjetivo por causa da exigência de padronização e uniformização de critérios.

Richards (1995) afirma que as duas formas de interpretação de imagens, embora tendo as suas próprias características e regras, são complementares. O quadro 2 faz comparação das características da análise visual baseada em regras do especialista (fotointerpretação) e da análise quantitativa, efetuada através de decisões por algoritmos de *softwares* específicos proprietários ou livres.

Os algoritmos dos classificadores tradicionais orientados a *pixel* extraem as feições com base na informação espectral do *pixel*, associando a cada um dos pixels da imagem um rótulo que descreve o objeto do mundo real correspondente. Segundo Crósta (1993), são duas as abordagens. A que se denomina de classificação supervisionada, na qual o especialista identifica o conjunto de pixels com características semelhantes: cor, textura e forma, que pertencem a determinada classe, ficando o aplicativo responsável de criar outras regiões com as mesmas características. Outra forma consiste na classificação de imagens adotando método automático, sem a participação efetiva do especialista: classificação não supervisionada gera os objetos do mundo real, embora possa apresentar resultados não satisfatórios, se em área muito fragmentada.

QUADRO 2 – COMPARAÇÃO DAS FORMAS DE EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES EM IMAGENS

Fotointerpretação (baseada em regras do especialista)	Análise Quantitativa (desenvolvida em computadores)
A análise é realizada em escala grande relativamente ao <i>pixel</i> .	A análise é realizada em nível do <i>pixel</i> .
As estimativas de áreas são imprecisas.	Os cálculos de área são efetuados com precisão.
Limitada à análise multiespectral.	Pode realizar análise unidimensional e multiespectral.
Pode discriminar um número limitado de tons de cinza.	Pode efetuar análise em produtos de várias resoluções: 8 a 16 bits.
Definição da forma da feição é fácil.	Determinação das formas das feições envolve decisões complexas.
É fácil usar a informação espacial.	Técnicas limitadas para fazer usos espaciais.

Fonte: Adaptada de Richards (1995).

Processos de segmentação

A segmentação multirresolução particiona a imagem em segmentos com diferentes escalas de percepção, considerando, também, características de heterogeneidade espacial (forma) espectral, e diferença entre objetos. Entende-se que a forma do objeto resultará de conjunto de regras visuais pertinentes ao processo cognitivo, que permite segmentar o espaço visual em subunidades com atributos e significados. A abordagem orientada a objeto, portanto, procura estabelecer a construção de objetos sobre imagens orbitais (ENCARNAÇÃO; ROCHA; TENEDÓRIO, 2007). Os parâmetros de heterogeneidade relacionam-se à cor e forma dos objetos, enquanto que o limiar de escala é o parâmetro que define o tamanho dos objetos.

O método adota como ideia central o processamento de unidades de imagem que se distinguem entre si por meio de feições características. As unidades da imagem não são representadas por *pixels*

individuais, mas por meio de segmentos de imagens maiores e homogêneos, com características essenciais para posterior classificação como forma, textura e contexto. A segmentação é efetuada pelo cálculo dos segmentos da imagem e as informações são adicionadas ao sistema com base em conhecimentos do especialista, a partir do qual são construídos conjuntos de regras que levam a uma discriminação ainda maior (JANOTH et al., 2007).

A segmentação por multirresolução (multiescala) é procedimento que permite, sem conhecimento especializado das feições selecionadas, produzir objetos homogêneos na imagem. São gerados objetos com diferentes tamanhos e em diferentes planos. Em princípio, a segmentação multirresolução permite segmentar qualquer arquivo raster (PILZ; STROBL, 2007). Os objetos produzidos na segmentação são utilizados na classificação do conteúdo da imagem, e os objetos são relacionados a classes individuais conforme conjunto de regras definidas como funções fuzzy.

Segundo Antunes (2003), o algoritmo de segmentação multirresolução segmenta a imagem em diferentes níveis hierárquicos, formando segmentos/objetos de diferentes tamanhos (multiescala). A rede hierárquica relaciona objetos maiores a subobjetos e o conhecimento humano pode ser inserido, vez que os objetos ou regiões estão contextualizados. O conhecimento do mundo real pode ser realizado por meio de lógica fuzzy, através de parâmetros espectrais e parâmetros de forma. A classificação baseada em contexto e com a inserção do conhecimento, é uma das formas atualmente utilizadas pela comunidade de sensoriamento remoto para incrementar a qualidade da classificação.

Conceitos da lógica fuzzy

A ciência da lógica foi criada por Aristóteles (384-322 a.C.): lógica Aristotélica ou lógica bivalente clássica, caracterizada por dois princípios que são a lei da lógica da não contradição e a lei do terceiro excluído. Afirma Campos Filho (2004) que, na lei da lógica da não contradição, nenhuma afirmação pode ser considerada verdadeira e falsa ao mesmo tempo, e que na lei do terceiro excluído, uma afirmação tem que ser verdadeira ou falsa.

Kohagura (2007) esclarece que Jan Lukasiewicz desenvolveu a lógica multinível, apresentando a lei da contradição, que era um contraponto à lógica Aristotélica, segundo a qual uma determinada afirmação pode ser verdadeira ou não, ao mesmo tempo. Para Campos Filho (2004), isso se tornará possível desde que a afirmação não apresente apenas os níveis verdadeiro e falso, mas sim, uma graduação da verdade com a existência de vários níveis. Lotfi A. Zadeh, de origem iraniana, publicou em 1965 o trabalho *Conjuntos Fuzzy*, fundamentado na lógica multinível que demonstra, matematicamente, o tratamento dos aspectos imprecisos e ambíguos da lei da contradição.

Na lógica clássica, uma proposição ou é completamente verdadeira ou é completamente falsa. Enquanto que, na lógica *fuzzy*, uma mesma proposição pode variar em grau de verdade de 0 a 1, o que leva a ser parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa. A Lógica *Fuzzy* aproxima a decisão computacional da decisão humana, de forma que a máquina não se restrinja a, simplesmente, um “sim” ou “não”, mas também ofereça decisões do tipo “um pouco mais” ou “talvez sim”.

Para Kohagura (2007), a lógica fuzzy não fica restrita entre verdadeiro e falso, porque existem vários níveis entre o verdadeiro e falso. Mais claramente, enquanto a lógica clássica distingue, apenas, o preto e o branco, a lógica fuzzy é capaz de identificar vários tons de cinza, além do preto e o branco. Em verdade, “[...] entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existem infinitos graus de incerteza”, afirma.

Essencialmente, a Lógica *Fuzzy* gera valores de saída sem a necessidade de entradas precisas, e é baseada na teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, que verifica o grau de pertinência de um elemento referente a um domínio. O grau de pertinência é a referência utilizada para a verificação da possibilidade desse elemento pertencer àquele conjunto. O grau de pertinência é calculado por meio de regra que retorna a valores reais que variam de 0 a 1, em que o valor 0 indica que o elemento não pertence ao conjunto e 1 que pertence (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2012).

A lógica *fuzzy* ou lógica “nebulosa”, tem por objetivo gerar uma saída lógica partindo do tratamento dos dados vagos ou imprecisos, com ruídos. O controle efetuado pela lógica *fuzzy* é baseado

em regras. A lógica *fuzzy* imita o pensamento humano que é, por natureza, nebuloso e encontra-se entre as técnicas mais recentes de Inteligência Artificial, aproximando a decisão computacional da decisão humana, e suas bases de conhecimento estão em formato de regras, fáceis de examinar e entender. Este formato de regra também torna fácil a manutenção e a atualização da base de conhecimento.

O Estado da Arte: Análise de Imagens Baseada em Objetos

Nos processos automáticos, para a aquisição de informações geográficas, ganha importância os modernos classificadores orientados a objetos que permitem a inserção do conhecimento humano para a extração da informação sobre imagens de sensores remotos. Souza et al. (2009) afirma que, no contexto da classificação automática, o Estado da Arte é traduzido pelos modernos classificadores orientados a objetos que revolucionam a performance dos processos automatizados de classificação:

A interpretação de imagens constitui uma disciplina jovem no âmbito do Processamento de Informações. A disponibilidade de novos e incrementados sensores e um aumento da capacidade de processadores para a interpretação, levaram a uma ampla utilização de sistemas de processamento de imagens em quase todos os setores da moderna economia – partindo da tecnologia de comunicação e de diversão, passando pela tecnologia de medicina, de segurança, de tráfego, de automatização, de qualidade e de sensoriamento remoto, até o monitoramento e controle dos recursos naturais a nível mundial.

As tarefas da interpretação de imagens originaram-se, via de regra, daquelas tarefas que, numa etapa anterior, foram efetuadas pelo Homem com as suas capacidades visuais e cognitivas. Os atuais sistemas técnicos de interpretação de imagens por isso estão em concorrência direta com as capacidades visuais do Homem e são medidos/comparados com as mesmas. Ainda está distante o momento da equalização destes sistemas com a capacidade de identificação e flexibilidade humanas. A vantagem dos sistemas automáticos reside na sua elevada capacidade de reprodução dos resultados, do não-cansaço, da grande capacidade de trabalho e de, relativamente, baixos custos. Tais vantagens,

no momento, somente podem ser utilizadas em cenas simples, bastante padronizadas e em seqüências de trabalho rígidas. Quando estas condições não estiverem disponíveis, o Homem, com sua capacidade de reconhecimento, é bem superior à interpretação pela máquina. A superioridade do sistema visual humano baseia-se, essencialmente, no fato de que o Homem usa conhecimento sistemático para a interpretação de imagens. Ele está em condições de, aparentemente, obter este conhecimento sem grande esforço e de aplicá-lo em conformidade com as respectivas exigências feitas a ele [...] (LIEDTKE, 2003 apud PAHL, 2003, p. 12).

A etapa da segmentação antecede o processo da classificação por Análise de Imagens Baseadas em Objetos (OBIA, sigla em inglês para Object Based Image Analysis), e particiona a imagem em segmentos/objetos de acordo com os parâmetros de escala e cor testados para a representação dos níveis de segmentação, ou seja, o tamanho do objeto a ser extraído vai depender dos valores utilizados para esses parâmetros, ou seja, a imagem pode sofrer várias segmentações criando objetos maiores ou menores. A segmentação da imagem em objetos significativos é o passo mais importante do método de classificação orientada a objeto e depende do ajuste dos valores para os seus parâmetros que é procedimento lento e subjetivo, com tentativas e erros para alcançar a melhor rede semântica para atingir os objetivos.

A estratégia utilizada na segmentação multirresolução das imagens dos estuários da pesquisa, para gerar a rede hierárquica de objetos, começou por um nível mais detalhado de objetos para ser agregados a objetos maiores, obedecendo a um nível hierárquico. A Rede Semântica Hierárquica foi criada com estrutura simples, em que os objetos da imagem são distribuídos entre classe de Mangues e classe de “Não-Mangues”. Os objetos “Não-Mangues”, compreendidos como solo exposto, vegetação de caatinga, área construída e sombra, poderão ser agrupados em uma única classe (PINHO; KUX; ALMEIDA, 2007).

A abordagem orientada a objeto permite definir regras baseadas em características espectrais, topológicas e a inserção de informações cognitivas nos objetos da rede semântica hierárquica de

forma progressiva. Foram atribuídas classes às amostras (objetos) de treinamento identificadas como “Mangue” e “Não-Mangue”, sobre a imagem original segmentada, ou seja, o método de classificação supervisionada foi utilizado, através da coleta de amostras pertinentes a cada classe (GONÇALVES et al., 2007).

Entende Encarnaçõ, Rocha e Tenedório (2007) que a diferenciação entre objetos espacialmente relacionados se tornará patente com a introdução de atributos que os aproximem ao objeto real: a textura, a localização relativa e o contexto espacial, formando redes de objetos com tipologia de classes hierarquizadas a várias escalas, numa abordagem sistêmica e representativa do espaço objeto de estudo.

A conjunção do banco de dados relacional com a base de dados espaciais permite ao usuário formular questões relacionadas às classes de feições: consultas e análises espaciais para a avaliação da evolução da dinâmica da vegetação de mangue. As consultas ao sistema podem ser representadas através de mapas temáticos e relatórios.

Em complemento, certamente, informações consistentes propiciarão ao administrador público maior eficiência e confiabilidade para gestão e ordenamento territorial, com garantia de aferição dos elementos da realidade trabalhada com maior acurácia.

Pode-se concluir que as geotecnologias, por si só, não rompem modelos antigos e tradicionais estabelecidos, mas a cultura com base no tratamento e análise da informação precisa e acurada tem que ser estabelecida.

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DE MANGUEZAIS NA COSTA OESTE CEARENSE

A área da pesquisa é o litoral Oeste do Ceará ou Costa do Sol Poente (Figura 1), que compreende os municípios de Caucaia, São Gonçalo do Amarante, Paracuru, Paraipaba, Trairi, Cruz, Jijoca de Jericoacoara, Camocim e Chaval, com suas paisagens naturais em praias, compõem cenários favoráveis às atividades relacionadas a ecoturismo, esportes náuticos, e à instalação de complexos hoteleiros e residenciais.



Figura 1 – Municípios do Litoral Oeste do Estado do Ceará
Fonte: Thiers (2013).

No litoral oeste predomina o clima quente semiúmido, com média de temperatura de 27°C e baixos índices pluviométricos, marcado por período chuvoso, que se estende de janeiro a maio, e por período de escassez de chuvas, que se estende de junho a dezembro.

O Estado do Ceará possui 49 Unidades de Conservação, das quais, na área objeto da pesquisa, foram criadas 5 Áreas de Proteção Ambiental (APAs), que se enquadram em categoria de uso sustentável, criadas com vistas à conservação de suas paisagens, que são de reconhecidos valores cênicos, inclui-se, nesses valores, toda a vegetação do ecossistema manguezal, ameaçado pela pressão antrópica. As intervenções do homem causam desequilíbrio na sua dinâmica natural, e colocam em risco a sua conservação, por causa de lançamento de esgotos e lixo, diariamente.

Os municípios da Costa do Sol Poente, em face de sua beleza paisagística, com predominância de vegetação do ecossistema manguezal, se destacam pela grande movimentação turística e, cite-se, o Governo Estadual, em convênio com o Ministério do Turismo, contratou serviços de mapeamento para toda a Costa Oeste do litoral cearense com vistas à promoção de ações voltadas ao desenvolvimento do turismo na área objeto da pesquisa.

Classificações e análises para as Áreas de Manguezal na Costa Oeste Cearense

A análise dos valores observados de áreas (ha), correspondentes às classes de bosques de mangues, determinados sobre os complexos estuarinos do litoral oeste do Ceará, pretende identificar a dinâmica espacial no recorte temporal entre 1985 e 2008.

A dinâmica espacial será analisada através dos valores das classes de feições dos bosques de mangues, obtidas pela classificação orientada a objetos, método utilizado na pesquisa. Concomitantemente à análise da dinâmica evolutiva dos dados da pesquisa, será realizada comparação com valores divulgados por Monteiro et al. (2005) para identificar discrepâncias, se houver.

As classes de feições de bosques de mangues da pesquisa foram determinadas sobre imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT

5, sendo que os dados observados por Monteiro et al. (2005) para produzir as informações sobre as classes de mangue, foram obtidos sobre imagens do sensor ETM + transportado pelo satélite LANDSAT 7, através de método de classificação visual por regras e experiência do especialista.

As representações espaciais das classes de feições de bosques de mangues geradas por meio de classificação orientada a objetos e estruturadas para plataforma SIG, serão apresentadas em figuras para a representação cartográfica dos estuários do litoral oeste cearense, a seguir distribuídos.

Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Timonha/Ubatuba

Localizado no extremo oeste do Estado do Ceará, no limite interstadual, entre o Ceará e Piauí, o estuário dos rios Timonha e Ubatuba banha áreas dos municípios de Barroquinha e Chaval no Ceará, com posicionamento geográfico, aproximado, latitude 2°55'15" S e longitude 41°17'0617" WGr.

O estuário dos rios Timonha e Ubatuba apresenta elevado estágio de preservação do ecossistema manguezal, apresentando exuberante bosque de mangue, o que confere significativa importância à manutenção do equilíbrio ecológico em função dos serviços ambientais desempenhados por esse sistema. Tal fato ganha destaque em face do intenso uso, ocupação e descaracterização dos ambientes costeiros e, em especial, dos estuários em toda a costa oeste cearense.

Face à sua importância para a biodiversidade, no ecossistema manguezal do estuário dos rios Timonha e Ubatuba, está em tramitação a criação de Unidade de Conservação – Refúgio de Vida Silvestre (RVS), com fins de servir de proteção para o peixe-boi marinho, mamífero ameaçado de extinção. Saliente-se que é, *de per se*, instrumento para proporcionar o ecoturismo de base comunitária (CAMPOS, 2010). As Unidades de Conservação, segundo Gonçalves e Nogueira (2008), têm a função de manter a diversidade biológica e paisagística, quando incorporam mecanismos para a conservação e preservação do meio ambiente.

Os valores observados de áreas (ha) representados na tabela 4, e correspondentes às classes de bosques de mangues do estuário dos rios Timonha e Ubatuba, são referentes às imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 para os anos de 1988, 1998 e 2008.

TABELA 4 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE BOSQUES DE MANGUES NOS RIOS TIMONHA E UBATUBA

Ano	Orientada a objeto (ha)	Dinâmica Espacial
1985	5068,59	-
1998	5176,53	+ 2,13%
2008	5554,39	+ 7,29%

Fonte: Thiers (2013).

A análise da dinâmica espacial dos bosques de mangue, por meio dos valores quantitativos determinados através da classificação orientada a objetos, mostra que houve avanço nas áreas cobertas por vegetação de mangue no estuário do rio Timonha de, aproximadamente, 486ha, que corresponde a pouco mais de 9,5%. Os números, ora apresentados, evidenciam elevado crescimento das áreas ocupadas por bosques de mangue, tanto em termos absolutos como em termos relativos.

Como observado anteriormente, o estuário do rio Timonha é o que apresenta o menor índice de ocupação humana e, provavelmente, em decorrência, menor índice de degradação dos recursos naturais dentre os estuários da costa oeste cearense. A baixa ocupação, entretanto, não implica deprender que esse sistema esteja livre de pressões a serem exercidas por atividades humanas, que poderiam comprometer a sua integralidade e, certamente, a sua funcionalidade ambiental.

A taxa de crescimento das áreas ocupadas por mangue próximas a 10%, no recorte temporal de 23 anos, evidencia capacidade de regeneração da vegetação de mangue nesse estuário. Há de se destacar que o crescimento evidenciado ocorreu em área pouco utilizada por atividades produtivas. Entretanto, ressalte-se que esta não está livre de pressões que poderão advir das atividades antropogênicas produtivas: carcini-cultura e expansão imobiliária, para atendimento aos projetos e empreendimentos turísticos fomentados pelo governo do Estado, através

de obras de infraestrutura viária e fomento às atividades turísticas para o setor privado. A Figura 2 mostra graficamente a evolução das áreas ocupadas por vegetação de mangue no estuário do rio Timonha.

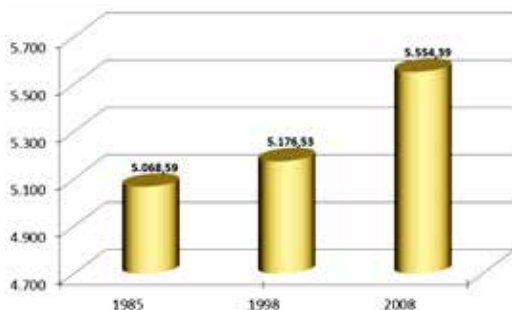


Figura 2 – Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Timonha
Fonte: Thiers (2013).

As representações espaciais/gráficas de bosques de mangues do estuário dos rios Timonha e Ubatuba, correspondentes às imagens orbitais referentes aos anos 1985, 1998 e 2008, são apresentadas nas figuras numeradas sequencialmente de 3 a 5, e foram produzidas pelo método de classificação orientada a objetos.

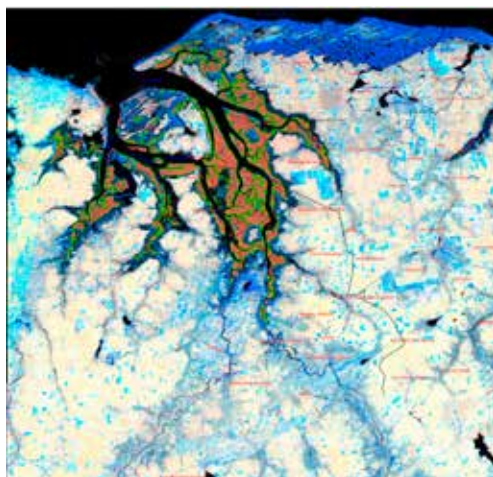


Figura 3 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Timonha (1988)
Fonte: Thiers (2013).

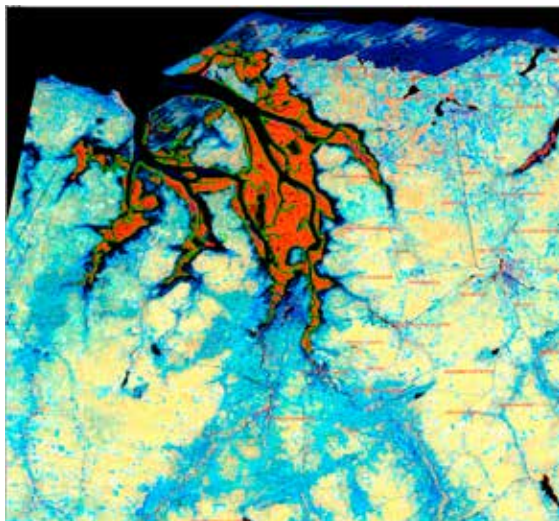


Figura 4 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Timonha (2000)
Fonte: Thiers (2013).

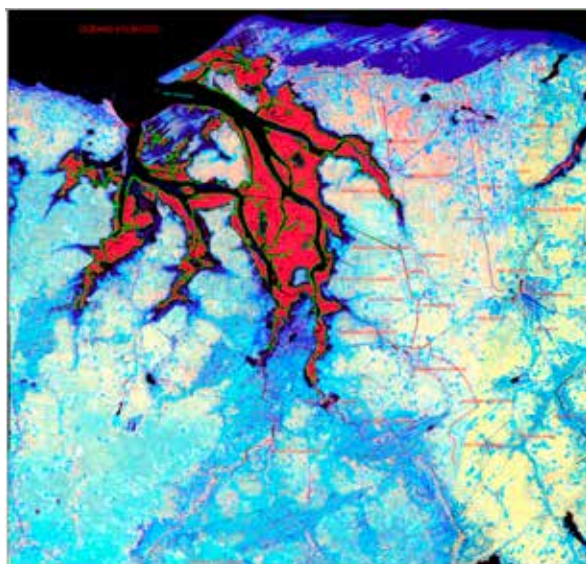


Figura 5 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Timonha (2007)
Fonte: Thiers (2013).

Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio dos Remédios

O estuário do rio dos Remédios localiza-se no limite entre os municípios de Barroquinha e Camocim, no Estado do Ceará, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude 2°25'39"S e longitude 40°24'15"W. Distante 32km da sede do município de Camocim, Estado do Ceará, que se localiza a 369km da capital do Estado. O acesso à área pode ser realizado por trilhas nas dunas, com viatura tracionada (4X4).

Na Tabela 5, estão representados os valores observados de áreas (ha) das classes de bosques de mangues do estuário do rio dos Remédios, obtidos sobre imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 para os anos de 1985, 2000 e 2008.

TABELA 5 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE BOSQUES DE MANGUES NO RIO DOS REMÉDIOS

Ano	Orientada a objeto (ha)	Dinâmica Espacial
1985	425,36	-
2000	490,25	15,26%
2006	533,80	8,88%

Fonte: Thiers (2013).

A análise dos dados referentes ao estuário do rio dos Remédios torna possível verificar o significativo crescimento da cobertura vegetal de bosques de mangue entre os anos de 1985 e 2000: incremento de 64,89ha, aproximadamente. Embora represente variação quantitativa pequena em termos absolutos, são valores que indicam crescimento superior a 15%, relativamente à área anteriormente ocupada. Os números permitem depreender que há elevada capacidade de recuperação do sistema manguezal, com a efetiva regeneração da vegetação que recobre esse ecossistema.

A Figura 6 mostra a evolução espacial das áreas de manguezal no estuário do rio dos Remédios nos anos de 1985, 2000 e 2006.

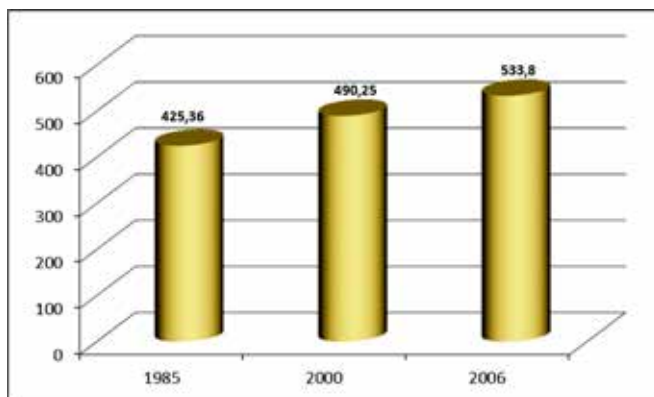


Figura 6 – Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio dos Remédios
Fonte: Thiers (2013).

As representações espaciais de bosques de mangues do estuário do rio dos Remédios para os anos 1985, 2000 e 2006, são apresentadas nas figuras 7 a 9, e foram produzidas pelo método de classificação orientada a objetos, e justificam os números apresentados.

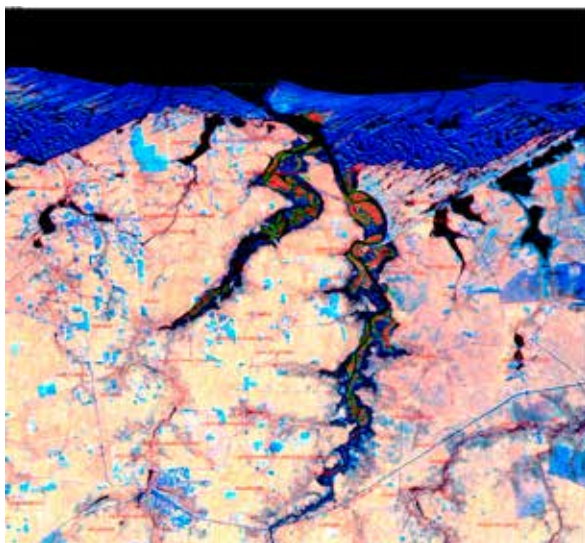


Figura 7 – Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (1988)
Fonte: Thiers (2013).

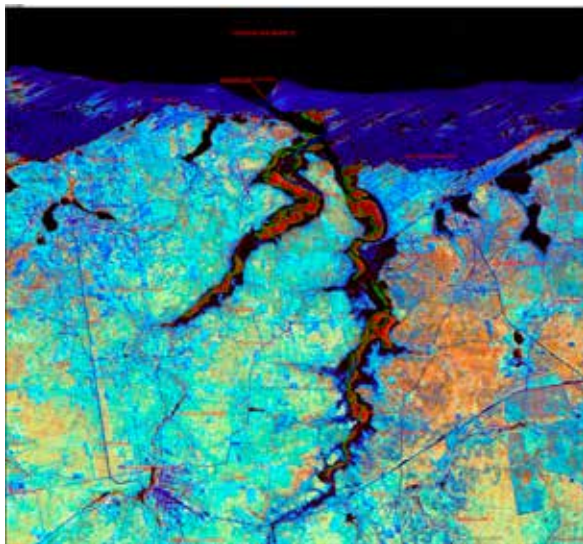


Figura 8 – Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (1999)
Fonte: Thiers (2013).

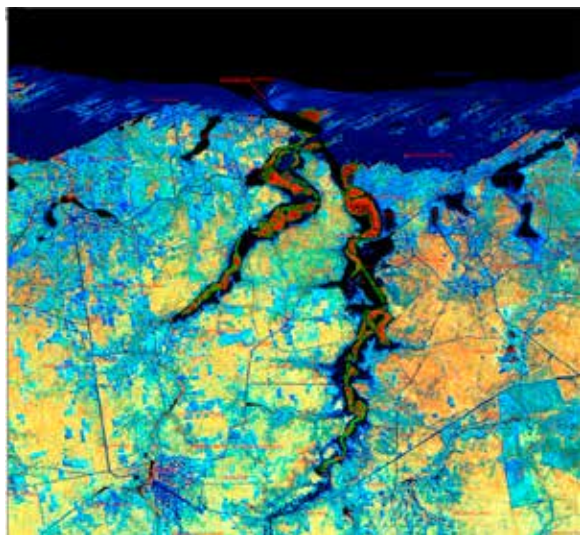


Figura 9 – Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (2007)
Fonte: Thiers (2013).

Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Coreaú

A foz do rio Coreaú está localizada no município de Camocim no Estado do Ceará, cortando-o na sua parte central, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude 2°53'04''S e longitude 40°49'05''WGr. Tem sua nascente localizada no município de Ibiapina e percorre os municípios integrantes do Vale do Coreaú: Frecheirinha, Mucambo, Ubajara, Coreaú, Moraújo, Uruoca, Granja e Camocim.

É rio sujeito às variações pluviométricas porque está inserido no semiárido, marcado por período chuvoso que se estende de janeiro a maio, e por período de escassez de chuvas que se estende de junho a dezembro. Primitivamente denominava-se de Curuayú, conjunção de curiá: ave aquática de pequeno porte, com iú (do verbo beber), que significa bebedouro dos curiás.

Trata-se de ambiente de extrema importância para a região, sobretudo devido à boa navegabilidade existente no estuário, que possibilitava a atracagem de navios de maior calado, sendo utilizado, juntamente com o porto de Aracati, para escoamento da produção agrícola durante final do século XVIII e início do século XIX.

Apresentam-se na Tabela 6 os valores quantitativos de áreas (ha) das classes de bosques de mangues do estuário do rio Coreaú, obtidos através de classificação de imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 para os anos de 1985, 2000 e 2008.

TABELA 6 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE BOSQUES DE MANGUES NO RIO COREAÚ

Ano	Orientada a objeto (ha)	Dinâmica Espacial
1985	3155,38	-
2000	3329,37	+ 5,51%
2008	3255,46	- 2,21%

Os valores quantitativos determinados para os períodos observados na pesquisa são utilizados para avaliações das dinâmicas espaciais dos bosques de mangues do Estuário do rio Coreaú. Conforme análise desses valores, é possível perceber que houve pequenas variações em áreas ocupadas por esse complexo vegetacional.

No período de 1985 a 2000, houve crescimento de pouco mais de 5% o que, em números absolutos, representa cerca de 174 hectares de mangue, aproximadamente. Se no primeiro período analisado houve acréscimo, observa-se no segundo que a área ocupada por bosques de mangue teve retração em 2,21%, correspondendo à perda em torno de 100 hectares. Considerando-se a totalidade dos períodos analisados, verifica-se que houve estagnação na área ocupada por mangues no estuário do rio Coreaú. A Figura 10 possibilita visualizar, graficamente, a evolução espaçotemporal da vegetação de mangue no estuário do rio Coreaú.

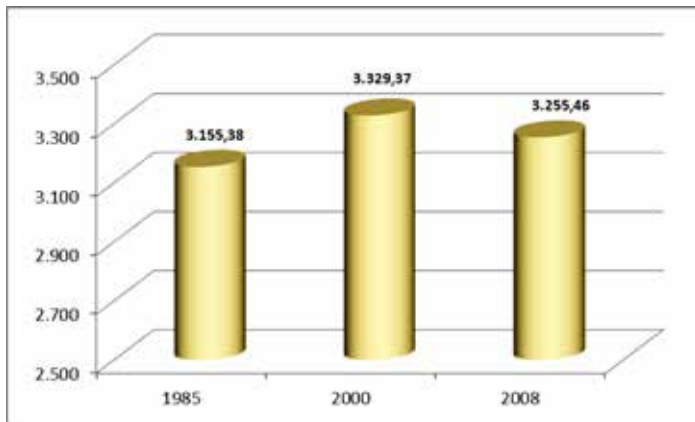


Figura 10 – Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Coreaú
Fonte: Thiers (2013).

A estabilidade verificada na área de ocupação da vegetação de mangues, nesse ambiente estuarino, suscita inúmeros questionamentos. Embora não haja discrepâncias tão díspares entre valores observados no período de avaliação, há de se ressaltar que a área compreendida pelo estuário do rio Coreaú é a que apresenta o maior índice de “vazios degradados” gerados por atividades antropogênicas. A justificativa plausível

para a constatação é que o estuário do rio Coreaú teve ocupação intensificada a partir da implantação do porto de Camocim no início do século XX, o qual se tornou um dos principais escoadores da produção agrícola cearense. A consolidação portuária e, por conseguinte, a expansão da área urbana municipal podem ter sido os componentes principais para as efetivas transformações das paisagens naturais, além de contribuírem, significativamente, para remoções prematuras das coberturas vegetacionais de mangue. De tal modo, tornam-se urgentes ações que visem assegurar a manutenção/ampliação das áreas de mangue no estuário do rio Coreaú.

As figuras 11, 12 e 13 demonstram a representação espacial das feições de bosques de mangues do estuário do rio Coreaú com base na classificação orientada a objetos para os anos de 1985, 2000 e 2008.

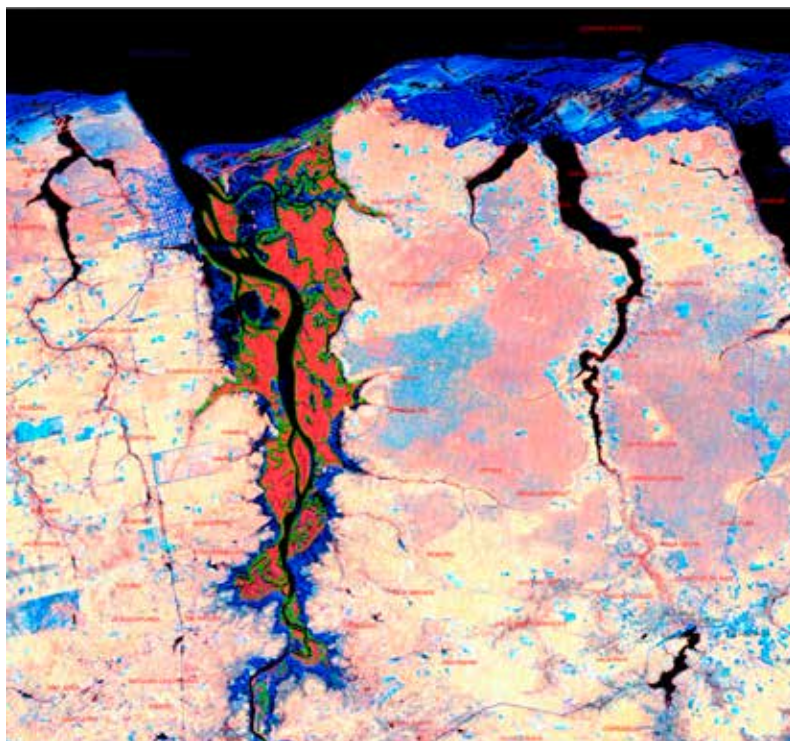


Figura 11 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreaú (1985)
Fonte: Thiers (2013).

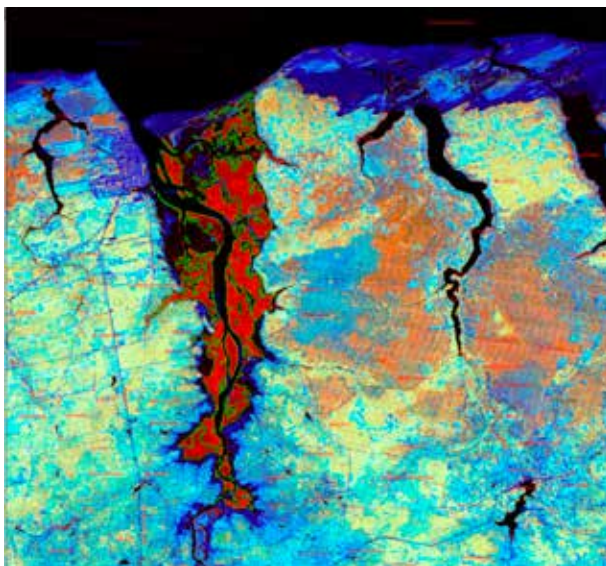


Figura 12 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreaú (1996)
Fonte: Thiers (2013).

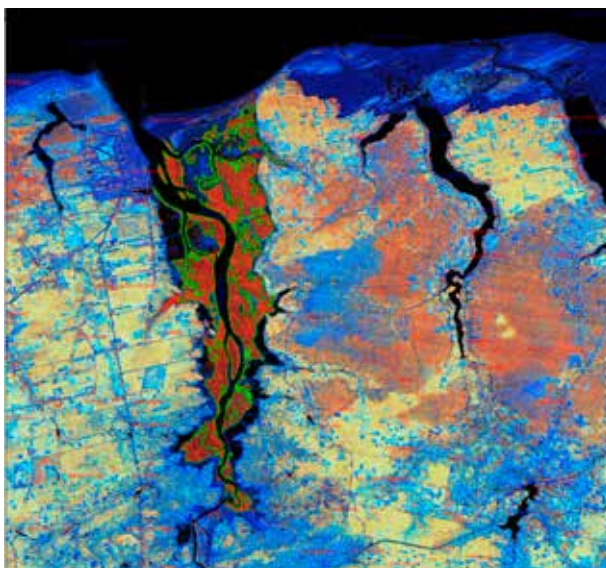


Figura 13 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreaú (2008)
Fonte: Thiers (2013).

Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Guriú

O estuário do rio Guriú banha o limite intermunicipal de Camocim e Jijoca de Jericoacoara e tem posicionamento geográfico, aproximado, de latitude 2°50'49"S e longitude de 40°34'55"WGr. O distrito de Jericoacoara está a 245 km da capital do Estado, e o estuário do rio Guriú fica distante 45 km da sede do distrito de Jericoacoara, o seu acesso é realizado através de trilhas com viaturas tracionadas.

Jericoacoara possui uma das principais Unidades de Conservação do Estado do Ceará: suas paisagens, de reconhecidos valores cênicos, são protegidas pelo Decreto nº 90.379 de 1984, que criou a Área de Proteção Ambiental (APA) (SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2012a). No entanto, maior destaque é conferido ao Parque Nacional de Jericoacoara, unidade de proteção integral que representa um dos principais destinos turísticos do Ceará.

Na Tabela 7 estão representados os valores quantitativos observados para as áreas (ha) das classes de bosques de mangues do estuário do rio Guriú, obtidos sobre imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 para os anos de 1985, 2000 e 2008.

TABELA 7 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE BOSQUES DE MANGUES NO RIO GURIÚ

Ano	Orientada a objeto	Dinâmica espacial
1985	269,49	-
2000	363,91	+ 35,04%
2008	448,74	+ 23,31%

Fonte: Thiers (2013).

Por meio da análise dos valores alcançados a partir da classificação orientada a objetos, nos períodos para os anos de 1985, 2000 e 2008, verifica-se que houve significativo crescimento nas áreas ocupadas por bosques de mangue no referido estuário.

No período de 1985 a 2000, houve acréscimo acima de 35%, ou seja, foram acrescidos 94 hectares em relação a pouco mais de 269 hectares já existentes. Em prosseguimento, observa-se que, no período compreendido entre 2001 e 2008, o processo de expansão dos bosques de mangue teve continuidade: o crescimento em relação à análise anterior atingiu impressionantes 23,31%. Constitui-se um crescimento vigoroso, levando-se em consideração a pequena variação temporal da análise. A Figura 14 mostra a curva ascendente dos dados observados da área ocupada por bosques cobertos por mangue no estuário do rio Guriú.

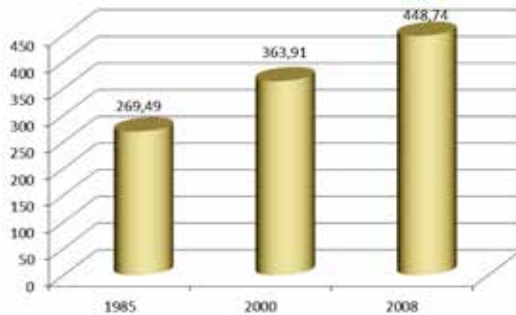


Figura 14 – Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Guriú
Fonte: Thiers (2013).

A análise da Figura 14 e dos dados apresentados na Tabela 7 permitem concluir que houve intensivo crescimento das áreas cobertas por mangues no estuário do rio Guriú. Como esse complexo vegetacional necessita de condições específicas para o seu desenvolvimento, os valores apresentados levam à constatação de que áreas desmatadas foram recolonizadas a partir da interrupção dos impactos sobre esse ambiente. O crescimento superior a 66% em período de vinte e três anos traz claras evidências da elevada resiliência dos manguezais. A discrepância desse crescimento, em comparação aos outros estuários analisados, dá indicativos de que, para que a regeneração ocorra, há necessidade da conjunção de variáveis, em que desponta como destaque a baixa interferência humana nesse ambiente.

Por outro lado, alguns fatores poderão justificar as expressivas taxas de crescimento, que passam pela localização da área rodeada por unidades de conservação da natureza, regidas por legislação específica e, sobretudo, devido às dificuldades de acesso ao estuário do rio Guriú. Por conseguinte, apresenta baixos índices de ocupação, com condições mais favoráveis à manutenção de sua integralidade e funcionalidade sistêmica. No entanto, há de se destacar a pressão potencial exercida por projetos relacionados ao desenvolvimento de atividades turísticas nas áreas de entorno do estuário do Guriú, sobretudo, nas áreas que não foram protegidas pela implementação de unidades de conservação.

As representações espaciais/gráficas de bosques de mangues do estuário do rio Guriú são apresentadas nas figuras 15 a 17, e foram produzidas pelo método de classificação orientada a objetos.

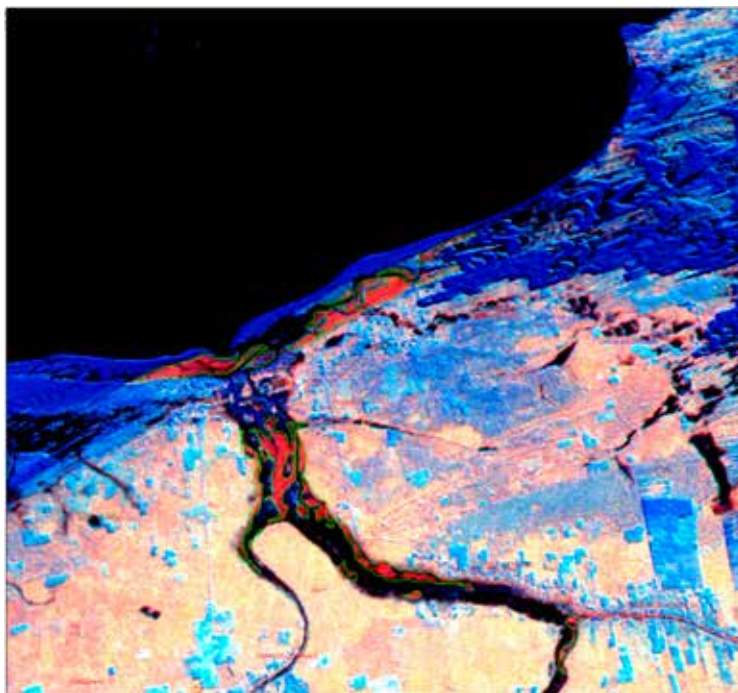


Figura 15 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Guriú (1988)
Fonte: Thiers (2013).

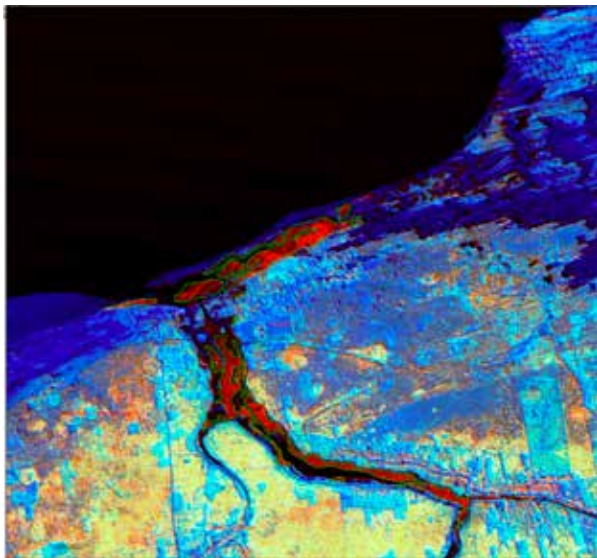


Figura 16 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Guriú (1998)
Fonte: Thiers (2013).

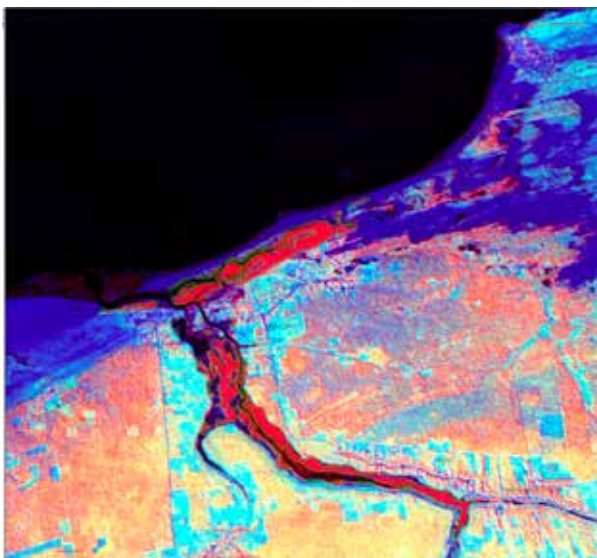


Figura 17 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Guriú (2007)
Fonte: Thiers (2013).

Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Acaraú

A bacia hidrográfica do rio Acaraú constitui-se em uma das principais bacias hidrográficas existentes no território cearense, sobretudo, por ser importante fonte de recursos hídricos no contexto do semiárido cearense. A bacia, em sua totalidade, drena uma área de mais de 14.500km², cujas áreas de drenagem compreendem um diversificado mosaico de combinações ecofisiográficas drenando, desde os terrenos cristalinos dos maciços residuais e depressão sertaneja, passando pelas coberturas sedimentares dos tabuleiros pré-litorâneos e da planície litorânea (SOUZA et al., 2005).

A foz do rio Acaraú está localizada na região centro norte do município de Acaraú no Estado do Ceará, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude 2°50'35"S e longitude 40°08'31"WGr. Nasce na Serra das Matas, em Monsenhor Tabosa, e banha 17 municípios, entre esses, Santa Quitéria, Forquilha, Sobral, Varjota, Pires Ferreira, Santana do Acaraú, Cariré, Marco e Bela Cruz.

Na bacia do rio Acaraú estão construídos alguns dos maiores açudes do Ceará. A existência desses reservatórios possibilita o controle da vazão do rio principal e, conseqüentemente, a instalação de alguns perímetros de irrigação. Dentre os reservatórios existentes na bacia merecem destaque os seguintes: Araras, Jaibaras, Edson Queiroz e Forquilha. É nessa bacia que se localiza o segundo maior perímetro irrigação: Baixo Acaraú.

Justamente por drenar uma área tão extensa, acumulam-se variados problemas e impactos que vão se refletir diretamente no estuário e, por conseguinte, na vegetação característica desse ambiente de mangue.

Para Araújo et al. (2009), o manguezal do estuário do rio Acaraú sofre pressão antrópica que causa desequilíbrio na sua dinâmica natural, as intervenções humanas colocam em risco a sua conservação, por causa do lançamento diário de esgotos e lixo.

A representação dos valores observados de áreas (ha) está representada na Tabela 8, corresponde às classes de bosques de mangues do estuário do rio Acaraú e referem-se às imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 para os anos de 1985, 1999 e 2008.

TABELA 8 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE BOSQUES DE MANGUES NO RIO ACARAÚ

Ano	Orientada a objeto (ha)	Dinâmica Espacial
1985	2975,58	-
1999	2942,37	- 1,12%
2008	3036,50	+ 3,19%

Fonte: Thiers (2013).

Os dados obtidos por meio da classificação orientada a objeto permitem visualizar que no período compreendido pela presente pesquisa não houve grandes variações na área estuarina coberta por bosques de mangue. Registra-se uma pequena redução na vegetação no ano 2000, aproximadamente, 33 hectares, em comparação com o primeiro ano de análise (1985) e um acréscimo de 3,19% em relação ao último ano da série analisada (2000-2008), correspondendo a 94 hectares de vegetação do ecossistema manguezal.

Considerando-se todo o intervalo de análise, verifica-se que houve um acréscimo de apenas 60 hectares, conforme pode ser verificado na Figura 18, que apresenta o gráfico com o quantitativo das áreas colonizadas por bosques de mangue no estuário do rio Acaraú.

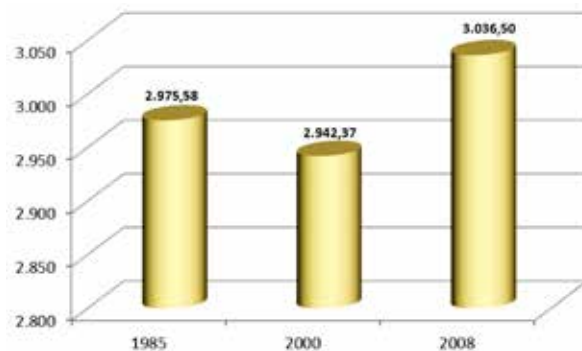


Figura 18 – Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Acaraú
Fonte: Thiers (2013).

As representações espaciais de bosques de mangues do estuário do rio Acaraú foram obtidas de dados extraídos de imagens orbitais e são apresentadas nas figuras de 19, 20 e 21, produzidas pelo método de classificação orientada a objetos, serão utilizados para avaliações das dinâmicas espaciais dos bosques de mangues do Estuário do rio Acaraú.

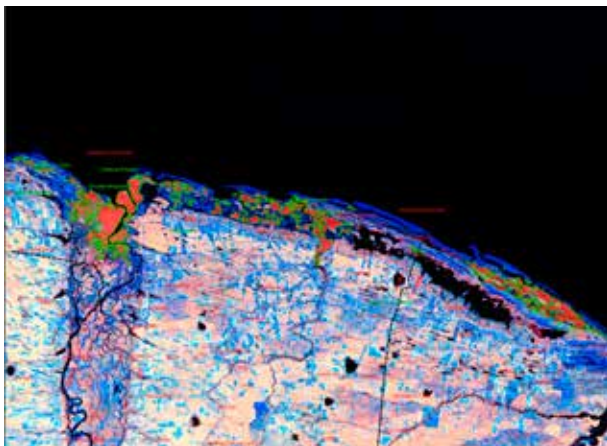


Figura 19 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (1985)
Fonte: Thiers (2013).

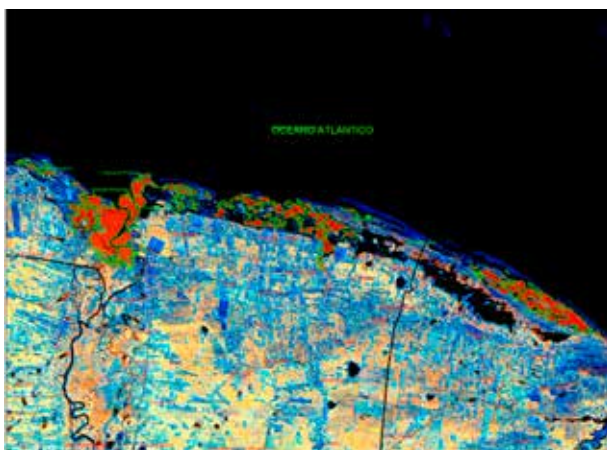


Figura 20 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (1998)
Fonte: Thiers (2013).

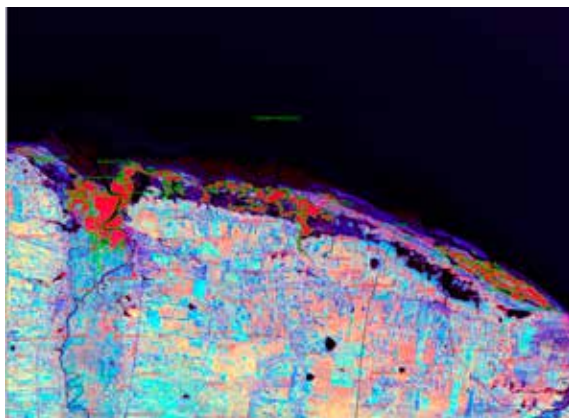


Figura 21 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (2007)
Fonte: Thiers (2013).

Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Aracatimirim

O rio Aracatimirim tem sua foz localizada na região centro norte do município de Itarema, no Estado do Ceará, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude $2^{\circ}58'38''S$ e longitude $39^{\circ}48'59''W$ Gr. Na foz do rio Aracatimirim, a localidade de pescadores Torrões entra no cenário turístico devido à grande beleza cênica de suas praias. As características climáticas, aliadas ao patrimônio natural e paisagístico da região vêm despertando interesses para o desenvolvimento de atividades turísticas que, se mal planejadas, podem trazer sérios problemas ao sistema manguezal.

Na Tabela 9, apresentam-se os valores de áreas (ha) das classes de bosques de mangues do estuário do rio Aracatimirim, obtidas sobre imagens orbitais do sensor TM, transportado pelo satélite LANDSAT 5, para os anos de 1985, 2000 e 2008.

TABELA 9 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE BOSQUES DE MANGUES NO RIO ARACATIMIRIM

Ano	Orientada a objeto (ha)	Dinâmica Espacial
1985	39,43	-
2000	94,55	+ 139,79%
2008	146,44	+ 54,88%

Fonte: Thiers (2013).

A análise dos dados obtidos revela enorme crescimento dos bosques de mangues no estuário do rio Aracatimirim. No período de 1985 a 2000, o crescimento foi da ordem de quase 140%, ou seja, as áreas ocupadas por mangue mais que dobraram, passando de pouco mais de 39 hectares para mais de 94 hectares. Não obstante, no segundo período de análise, em apenas oito anos (2000 a 2008) houve um acréscimo de quase 55% dos bosques de mangue.

A Figura 22 expressa graficamente a evolução quantitativa das áreas de bosque de mangue no ambiente estuarino do rio Aracatimirim, encerrando o exemplo mais contundente da capacidade de regeneração da vegetação de mangue.

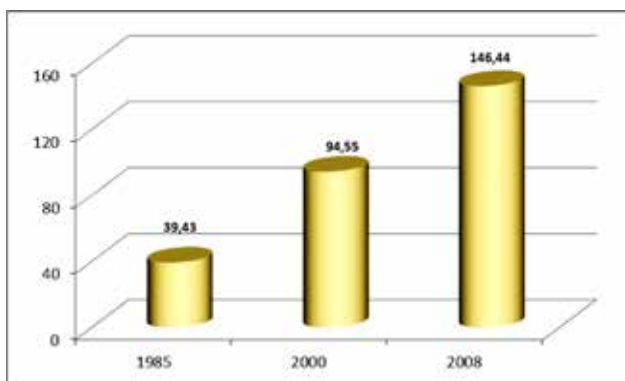


Figura 22 – Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Aracatimirim
Fonte: Thiers (2013).

Não é objetivo desta investigação tratar dos aspectos e fatores que impulsionaram essa regeneração. Entretanto, algumas constatações levam a considerações relacionadas a fatores derivados de atividades antropogênicas: atividade salineira, carcinicultura e ocupação das áreas de manguezal, que podem ser considerados os principais tensores responsáveis pela interferência na dinâmica regenerativa da vegetação de mangue. Como o estuário em foco não evidenciou efetiva expansão das atividades produtivas e não houve expansão urbana sobre o manguezal, associados ao declínio da atividade salineira, pode-se concluir, portanto, que esses fatores justificam os elevados valores encontrados.

As representações gráficas dos bosques de mangues do seu estuário para os anos 1985, 2000 e 2008, são apresentadas nas figuras de 23 a 25, e foram produzidas pelo método de classificação orientada a objetos, os valores quantitativos determinados para os períodos observados na pesquisa fundamentam a avaliação da dinâmica espacial dos bosques de mangues do Estuário do rio Aracatimirim.

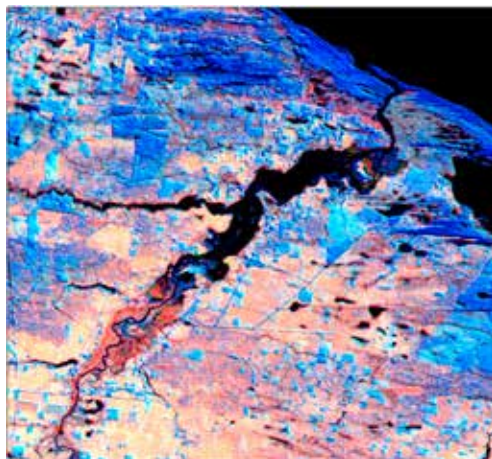


Figura 23 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatimirim (1985)
Fonte: Thiers (2013).

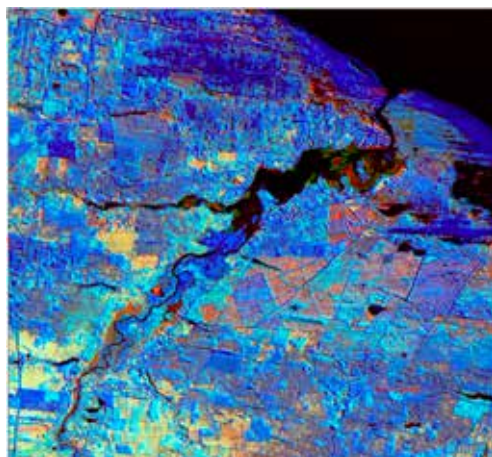


Figura 24 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatimirim (1999)
Fonte: Thiers (2013).

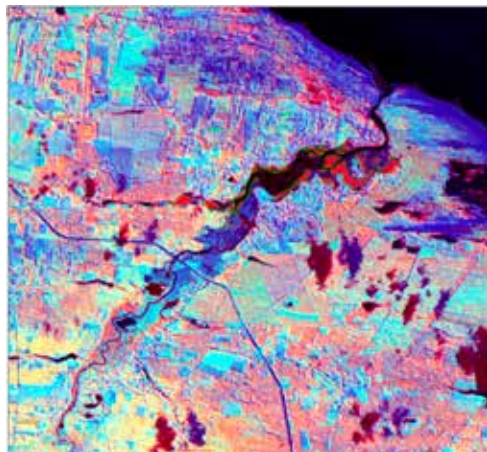


Figura 25 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatimirim (2007)
Fonte: Thiers (2013).

Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Aracatiaçu

A foz do rio Aracatiaçu localiza-se no limite intermunicipal dos municípios de Itarema e Amontada, no Estado do Ceará, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude $3^{\circ}01'23''S$ e longitude $39^{\circ}41'53''WGr$.

O rio Aracatiaçu, segundo Sales e Lourenço (2010), nasce próximo às serras de Santa Luzia e Tamanduá, no município de Sobral, e se estende por 181 km, predominantemente na direção sudeste-nordeste, banhando os municípios de Amontada e Miraíma, apresentando características de drenagem intermitente.

Para manter a diversidade biológica e paisagística do estuário do rio Aracatiaçu, a prefeitura de Amontada optou pela criação de uma Unidade de Conservação (UC): Área de Proteção Ambiental (APA), que se enquadra na categoria de uso sustentável, ou seja, segundo Gonçalves e Nogueira (2008, p. 2), “[...] têm como objetivos compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentado dos recursos naturais.” Basicamente, ainda segundo os autores, busca-se incorporar mecanismos para o uso racional dos recursos naturais, a conservação e preservação do meio ambiente. A representação dos valores observados de áreas (ha) é feita na Tabela 10, a representação corresponde às classes de bosques de

mangues do estuário do rio Aracatiaçu, e refere-se às imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 para os anos de 1988, 1996 e 2007.

TABELA 10 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE BOSQUES DE MANGUES NO RIO ARACATIAÇU

Ano	Orientada a objeto (ha)	Dinâmica Espacial
1988	683,58	-
1996	678,34	- 0,77%
2007	810,72	+ 19,71%

Fonte: Thiers (2013).

Em relação à dinâmica e evolução espacial dos bosques de mangue no referido estuário, há de se observar que no período de 1996 a 2007, registrou-se crescimento de 132 hectares de vegetação de mangue, aproximadamente. Embora, em valores absolutos não sejam tão significativos, esse acréscimo representa mais de 19%, evidenciando uma importante regeneração dessa vegetação na área.

Ao tempo que houve crescimento no último período de análise (1996 a 2007), a comparação dos dados obtidos por meio das duas classificações mostra que praticamente não houve mudança na área ocupada por bosques de mangue no estuário do rio Aracatiaçu no período de 1988 a 1997, apresentando uma retração de menos de 1%. A Figura 26 apresenta graficamente a evolução quantitativa das áreas de bosques de mangue no estuário do rio Aracatiaçu nos períodos observados:

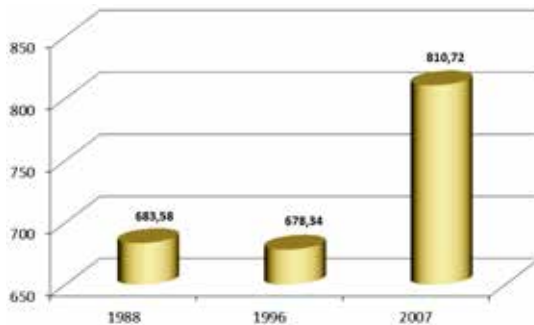


Figura 26 – Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Aracatiaçu
Fonte: Thiers (2013).

As possíveis explicações para essa estagnação da área ocupada por vegetação de mangue no primeiro período de análise (1988 a 1996), pode estar relacionada ao abandono das salinas e à posterior ocupação dessas mesmas áreas pelos viveiros de camarão. A retração da atividade de carcinicultura no final da década de 1990 pode ter contribuído para redução das pressões das atividades antrópicas sobre o manguezal. No segundo período da análise, houve expansão de vegetação de mangue em torno de 20%, relativa a cerca de 127 hectares.

As representações espaciais dos bosques de mangues do estuário do rio Aracatiaçu, extraídas de imagens orbitais referentes aos anos 1988, 1996 e 2007, são apresentadas nas figuras, sequencialmente, de 27 a 29, foram produzidas pelo método de classificação orientada a objetos, e os valores quantitativos determinados para os períodos observados são os utilizados para avaliações das dinâmicas espaciais dos bosques de mangues do Estuário do rio Aracatiaçu.

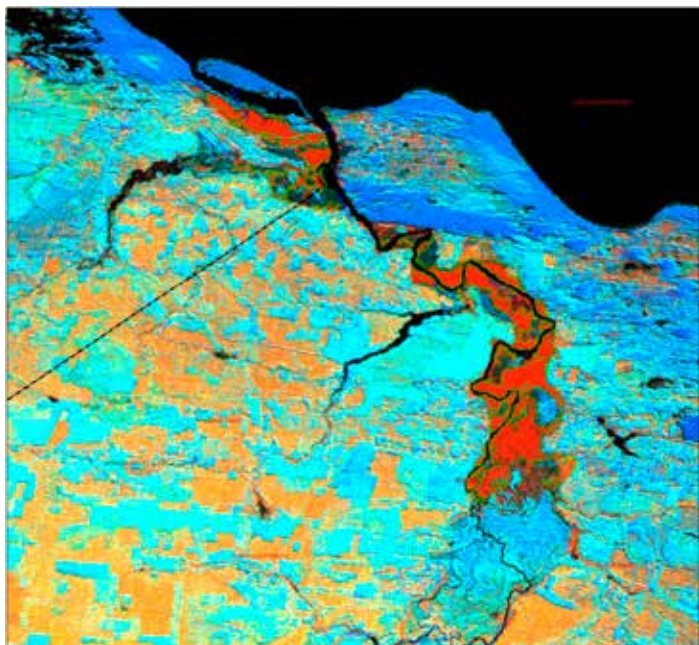


Figura 27 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiaçu (1991)
Fonte: Thiers (2013).

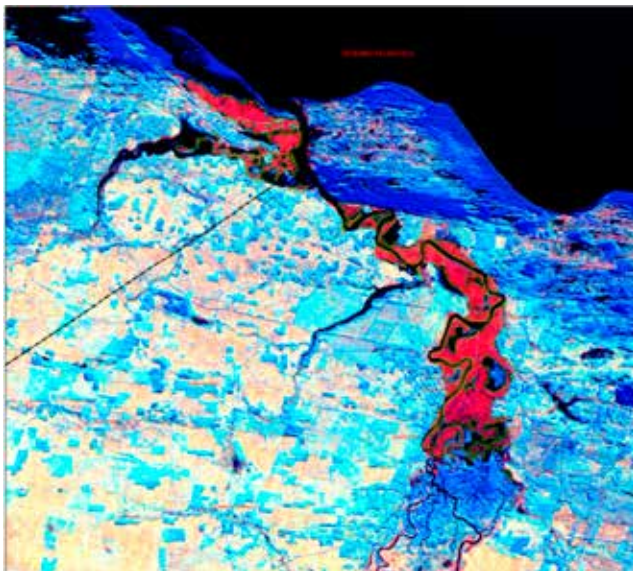


Figura 28 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiáçu (1996)
Fonte: Thiers (2013).

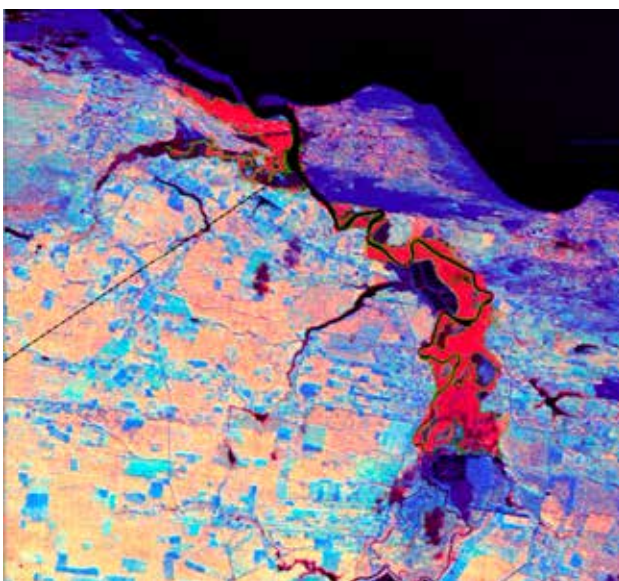


Figura 29 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiáçu (2007)
Fonte: Thiers (2013).

Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Mundaú

O estuário do Rio Mundaú está localizado no Município de Trairi e banha o limite intermunicipal de Itapipoca e Trairi, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude 3°11'38"S e longitude 39°24'10"WGr, distante 165 km de Fortaleza e 14km da sede do município de Trairi. Sua nascente é na serra de Uruburetama e banha os municípios de Tururu, Trairi e Itapipoca.

Resultado de complexos processos ambientais, constantemente influenciados pela dinâmica dos ambientes costeiros, o estuário do rio Mundaú, assim como os demais estuários da costa oeste, apresenta predominância de vegetação do ecossistema manguezal, com destaque para o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) e o preto ou siriúba (*Avicennia tomentosa*).

Em face de sua beleza paisagística, que atrai grande movimentação turística, funções e serviços ambientais que exerce, foi criada, em consonância com as demais UCs do litoral oeste do Ceará, a Área de Proteção Ambiental (APA) do Estuário do rio Mundaú, por meio do DECRETO nº 24.414, de 29 de março de 1999, que abrange uma área de 1.596,37 hectares, com a justificativa de que é “[...] refúgio biológico de grande valor e pela natural fragilidade do equilíbrio ecológico deste estuário, em permanente estado de risco face às intervenções antrópicas” (SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2012b).

Os valores observados de áreas (ha), correspondentes às classes de bosques de mangues, estão representados na Tabela 11, e são referentes às imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 para os anos de 1988, 1996 e 2007. Para identificação de classes de feições de bosques de mangues da pesquisa, foram utilizados os métodos baseados em classificação orientada a objetos.

TABELA 11 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE BOSQUES DE MANGUES NO RIO MUNDAÚ

Ano	Orientada a objeto (ha)	Dinâmica Espacial
1988	1140,55	-
1996	957,24	- 16,07%
2007	956,33	- 0,99%

Fonte: Thiers (2013).

Diferentemente do que ocorreu com os demais estuários da costa oeste cearense, no rio Mundaú foi verificada uma retração das áreas de bosques de mangue. No primeiro período de análise, compreendido entre os anos de 1988 a 1996, houve retração girando em torno de 16% de seus bosques, o que significa uma supressão de mais de 183 hectares de vegetação. Já no período de 1996 a 2007 houve certa estagnação, com redução inferior a 1%, ou seja, pouco menos de 1 hectare (Figura 30).

O fator de diferenciação do estuário do rio Mundaú em relação à dinâmica quantitativa das áreas de manguezais na costa oeste cearense reside, justamente, na descoberta turística da localidade homônima. Mesmo apresentando ocupação inferior em comparação à praia vizinha (Fleixeiras), o estuário do Mundaú é amplamente explorado para o desenvolvimento de atividades turísticas, com destaque aos passeios de Catamarã no estuário. A ocupação da faixa de praia interferiu na dinâmica sedimentar da zona costeira, ocasionando mobilização das dunas que, por conseguinte, aterraram algumas áreas de mangue. Acrescente-se a esses fatores, a valorização dos terrenos e expansão imobiliária, direcionada a projetos de construção de grandes complexos hoteleiros na região.

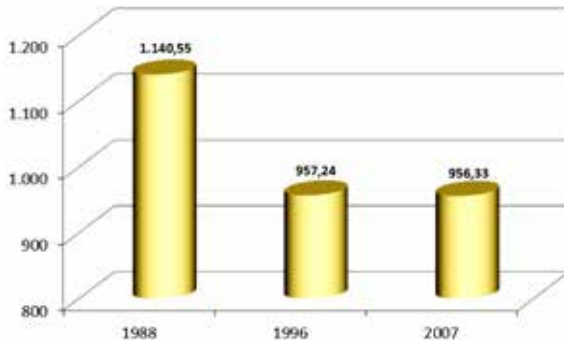


Figura 30 – Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Mundaú
Fonte: Thiers (2013).

Esses aspectos demonstram que as intervenções antropogênicas interferem de forma decisiva na capacidade de regeneração da vegetação de mangue, onde a intensividade e extensividade dos impactos podem comprometer, de forma decisiva, o equilíbrio ambiental desse sistema.

As representações espaciais/gráficas de bosques de mangue do estuário do rio Mundaú foram produzidas aplicando o método de classificação orientada a objetos, o que gerou os dados quantitativos que posteriormente foram utilizados para avaliações das dinâmicas espaciais dos bosques de mangues do Estuário do rio Mundaú (Figuras 31, 32 e 33).

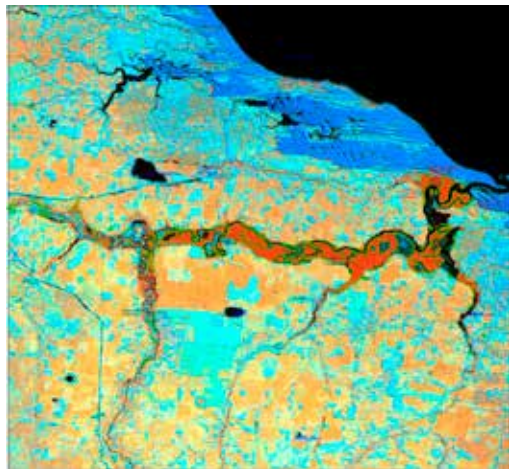


Figura 31 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Mundaú (1991)
Fonte: Thiers (2013).

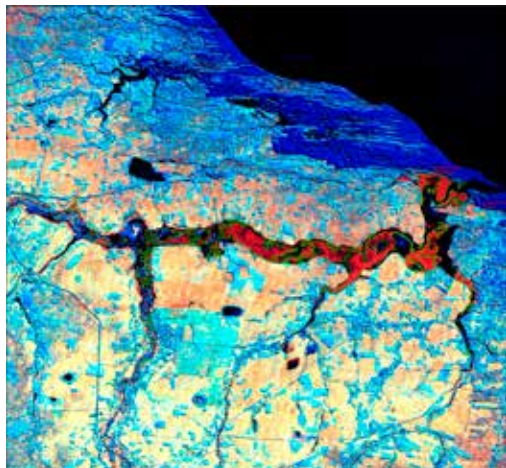


Figura 32 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Mundaú (1996)
Fonte: Thiers (2013).

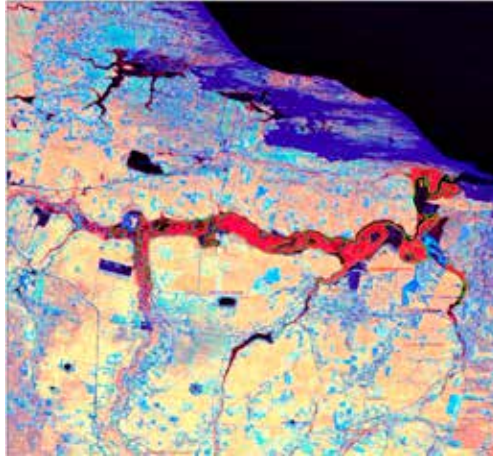


Figura 33 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Mundaú (2007)
Fonte: Thiers (2013).

Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Curu

O rio Curu banha os municípios de Paramoti, General Sampaio, Apuiarés, Pentecoste, São Luís do Curu e São Gonçalo do Amarante, sua foz banha o limite intermunicipal dos municípios de Paraipaba e Paracuru, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude $3^{\circ}24'35''S$ e longitude $39^{\circ}05'04''WGr$. Sua nascente é na região montanhosa do município de Canindé, formada pelas serras do Céu, Imburana e Lucas, cuja bacia drena uma área aproximada de 8.605 km^2 (SOUZA et al., 2005).

Encravado na região semiárida, portanto sujeito às fortes irregularidades pluviométricas, tem o seu leito perenizado pelos açudes General Sampaio e Pentecoste para servir de fonte hídrica para o projeto de irrigação Curu-Paraipaba.

Desloca-se, desde a sua nascente, pela extensão de 195 km na direção sudoeste-nordeste, sua bacia possui relevo que varia de moderado a fortemente dissecado, drenando terrenos cristalinos em seu médio-alto curso e as coberturas cenozoicas nas proximidades de sua foz. Em toda sua extensão, o curso principal do rio e seus afluentes,

enfrentam processos de assoreamento e eutrofização em face de lançamento de esgotos domésticos, desmatamentos de suas margens e práticas agrícolas predatórias ao longo de toda a bacia hidrográfica.

Os valores quantitativos determinados para os períodos observados na pesquisa foram utilizados para avaliações das dinâmicas espaciais dos bosques de mangues do Estuário do rio Curu, e estão representados na Tabela 12.

TABELA 12 – QUANTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE BOSQUES DE MANGUES NO RIO CURU

Ano	Orientada a objeto (ha)	Dinâmica Espacial
1988	43,32	-
1996	57,44	+ 32,59%
2007	118,25	+105,86%

Fonte: Thiers (2013).

Assim como ocorreu com o rio Aracatimirim, o estuário do Curu presenciou acentuado crescimento das áreas de bosques de mangue, conferindo um salto superior a 32% no período de 1988 a 1996. Não obstante, o avanço dessas áreas no período citado, posteriormente, entre 1996 e 2007, observa-se que o crescimento foi ainda maior, fazendo com que a área ocupada por vegetação de mangue mais que dobrasse, com crescimento acima de 105%.

Mesmo em face desse elevado crescimento percentual, devido à pequena dimensão do estuário, esses valores, em números absolutos, representam a incorporação/recuperação de apenas 74 hectares, aproximadamente, à de vegetação no sistema manguezal. A Figura 34 demonstra graficamente o comportamento quantitativo das áreas de mangue no estuário do rio Curu.

Os valores de áreas (ha) apresentados corresponde às classes de bosques de mangues do estuário do rio Curu, quantificados com base nas imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 para os anos de 1991, 1996 e 2007, e as representações espaciais de bosques de mangues do rio Curu obtidas de imagens orbitais referentes aos anos 1988, 1996 e 2007 são apresentadas através de figuras numeradas de 35 a 37, produzidas por método de classificação orientada a objetos.

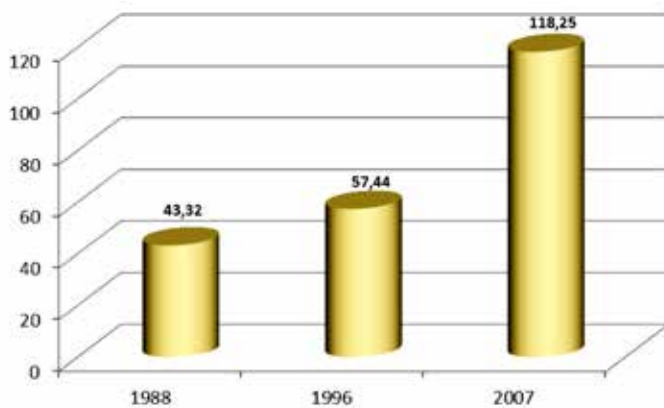


Figura 34 – Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Curu
Fonte: Thiers (2013).

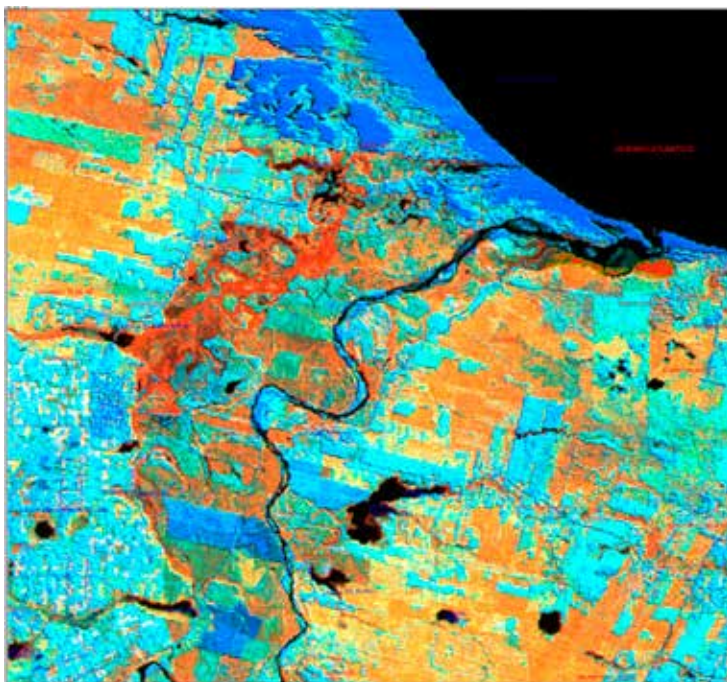


Figura 35 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Curu (1991)
Fonte: Thiers (2013).

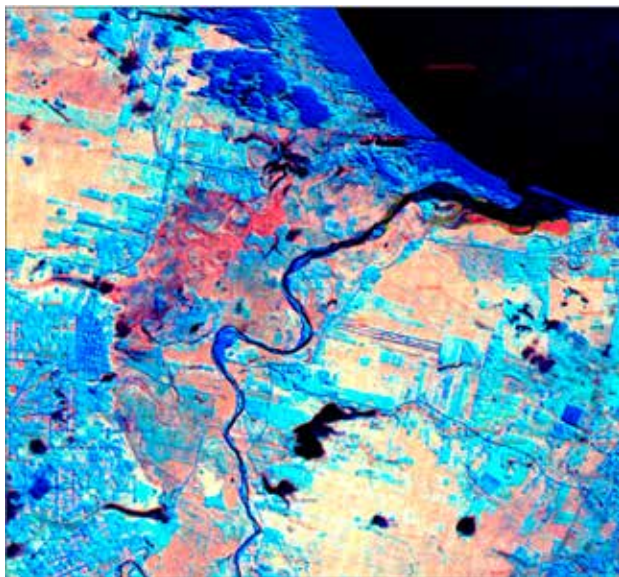


Figura 36 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Curu (1996)
Fonte: Thiers (2013).

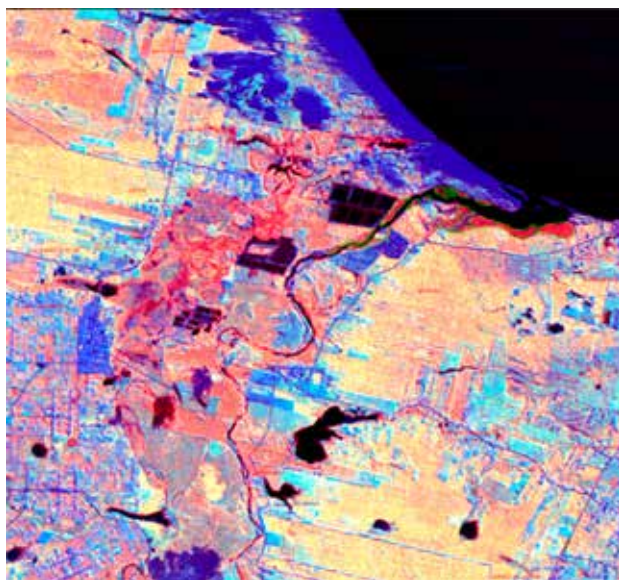


Figura 37 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Curu (2007)
Fonte: Thiers (2013).

Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Ceará

A foz do rio Ceará está localizada nos limites entre os municípios de Caucaia e Fortaleza, no Estado do Ceará, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude 3°41'55"S e longitude 38°35'52"WGr.

O rio Ceará constitui um dos principais sistemas fluviais da Região Metropolitana de Fortaleza – RMF. Suas nascentes localizam-se nas porções terminais da vertente setentrional do maciço de Baturité e é alimentado por diversos subsistemas fluviais originados nos maciços residuais litorâneos inseridos na RMF, como a serra de Maranguape (CEARÁ, 2005). Justamente por drenar uma área bastante povoada, os impactos socioambientais são diversos, com destaque para a ocupação urbana e desenvolvimento de atividades industriais que têm influências diretas na qualidade ambiental de toda a bacia e, por conseguinte, interferem na dinâmica do estuário.

Ademais, o estuário do rio Ceará tem significativa importância sociocultural em face das comunidades indígenas que historicamente ocupam esse espaço, sobretudo em sua margem oeste no município de Caucaia.

Por seu valor ecológico e turístico, pela valorização de comunidades indígenas que habitam suas margens, e por sua fragilidade face às intervenções antrópicas, foi criada a Área de Proteção Ambiental do Rio Ceará, que perfaz uma área de 2.744,89 ha. Nos seus bosques de mangues, destacam-se as espécies *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana*, *Avicennia germinans*, *Languncularia racemosa* e *Conocarpus erectus*, que constituem ambientes para sobrevivência de várias espécies de crustáceos, peixes e aves (SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2012c).

A representação dos valores observados de áreas (ha) é feita na Tabela 13 e corresponde às classes de bosques de mangues do estuário do rio Ceará, referem-se às imagens orbitais do sensor TM do satélite LANDSAT 5 para os anos de 1988, 1996 e 2007, cujos valores quantitativos observados foram utilizados para avaliações das dinâmicas espaciais dos bosques de mangues do Estuário do rio Ceará.

Dentre os períodos analisados, o maior crescimento ocorreu entre 1996 e 2007, quando foram incorporados mais de 250 hectares de vegetação de mangue. O referido avanço nos bosques de mangues, assim como os outros dados obtidos na maioria dos estuários analisados, corrobora a curva ascendente na área ocupada por esses bosques na porção oeste do litoral cearense. A Figura 38 expressa a evolução quantitativa das áreas de mangue no estuário do rio Ceará para os anos de 1988, 1996 e 2007.

TABELA 13 – QUANTIFICAÇÃO DA CLASSE DE BOSQUES DE MANGUES NO RIO CEARÁ

Ano	Orientada a objeto (ha)	Dinâmica Espacial
1988	649,49	-
1996	709,92	+ 9,30%
2007	982,35	+ 38.37%

Fonte: Thiers (2013).

Por estar inserido na RMF, o estuário do rio Ceará atravessou um longo processo de degradação vegetal e ocupação das áreas de manguezal. A atividade salinizada se desenvolveu com bastante intensidade, sobretudo, em áreas anteriormente ocupadas por mangues. Ademais, desenvolveram-se diversos tipos de atividades produtivas, como a instalação de estaleiro em sua margem direita. O declínio da atividade salinizada, já na década de 1970, e das atividades industriais justificam, em parte, a regeneração das áreas de mangue nesse ambiente.

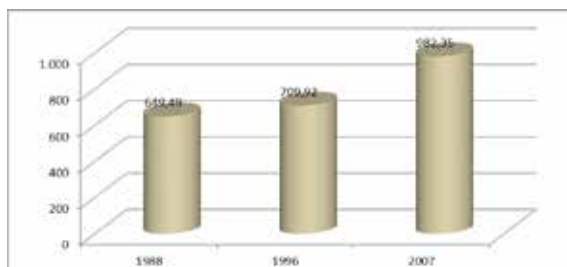


Figura 38 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Ceará
Fonte: Thiers (2013).

Esses números reforçam a necessidade de adoção de medidas protecionistas com vista à recuperação/manutenção da integridade do manguezal, sobretudo, as destinadas ao controle da expansão urbana. Tal preocupação ganha magnitude e importância em face da expansão desse tipo de ocupação no estuário a partir da intensa ocupação registrada nessas áreas após as intervenções estruturantes na costa oeste de Fortaleza, que desencadearam deslocamento populacional para as áreas de mangue, constituindo áreas de risco.

As representações espaciais de bosques de mangues do estuário do rio Ceará, obtidas de dados extraídos de imagens orbitais referentes aos anos 1988, 1996 e 2007, foram produzidas por método de classificação orientada a objetos e estão apresentadas sequencialmente nas figuras de 39 a 41.

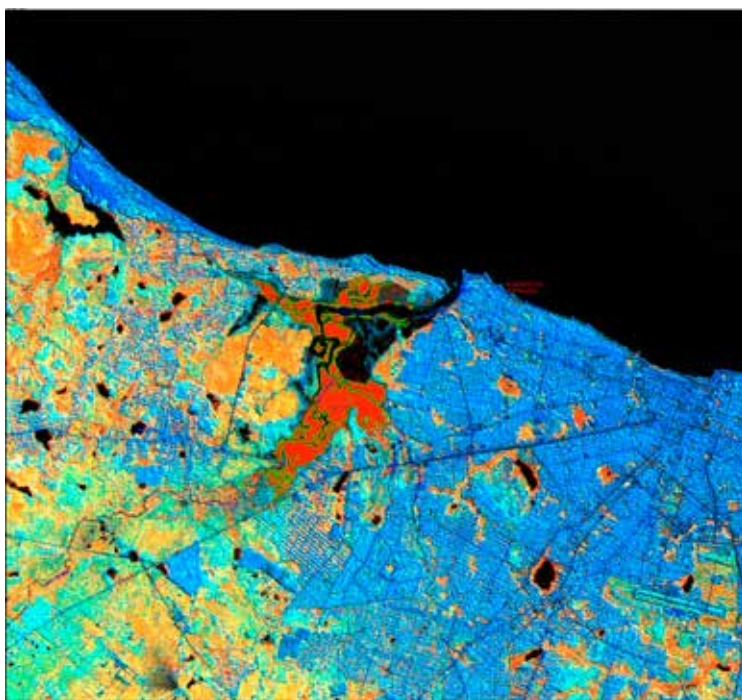


Figura 39 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará (1988)
Fonte: Thiers (2013).

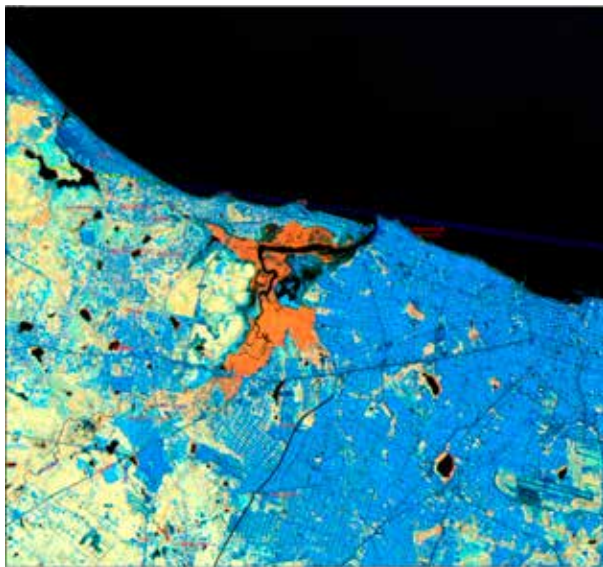


Figura 40 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará (1998)
Fonte: Thiers (2013).

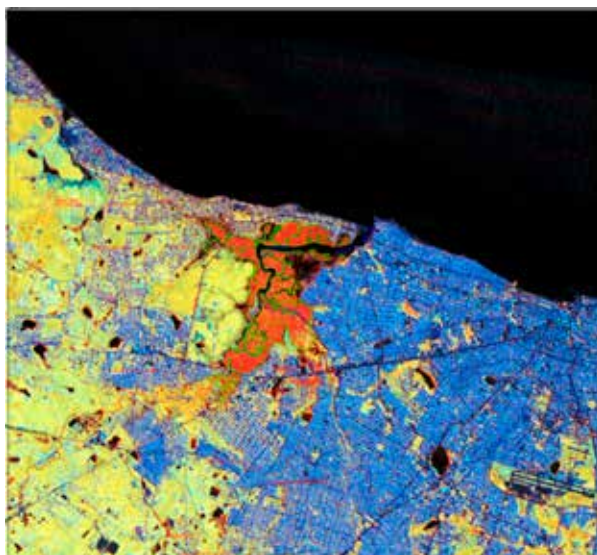


Figura 41 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará (2007)
Fonte: Thiers (2013).

ANÁLISES DE RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO E DISCUSSÕES COM TRABALHOS CORRELATOS

A abordagem na avaliação da dinâmica dos bosques de mangues, neste trabalho de pesquisa, teve por objetivo estabelecer a distribuição espacial do ecossistema manguezal e a sua quantificação ao longo da Costa Oeste cearense, em primeira instância, sobre imagens de altíssima resolução espacial para o ano de 2007, e estudar a evolução da dinâmica espacial com referência a cada estuário, em três períodos distintos e ao longo de 23 anos, como abordado no capítulo anterior. Para essa análise, foram utilizadas imagens orbitais de média resolução espacial/geométrica, com fins específicos de estabelecer: i) diferenças de valores observados entre áreas nos períodos analisados; e ii) a que taxas essas alterações ocorreram.

Enfatize-se que diversos trabalhos foram publicados com mapeamentos e quantificações de áreas de manguezais do litoral oeste do Ceará, mas que apresentaram valores relativamente distintos entre si, associados, certamente, às metodologias adotadas e aos dados observados com resoluções espaciais diversificadas.

Portanto, em face das incertezas estatísticas, para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas tecnologias da geoinformação: sensoriamento remoto e SIG, buscando a reformulação metodológica das abordagens convencionais, com ênfase no melhoramento do processo tecnológico, com fins de facilitar a exploração de potencialidades de análises de informações de natureza espacial e, por decorrência, com maior acurácia.

A metodologia empregada fez análise das informações espaciais geradas pela classificação orientada a objeto para obtenção dos diagnósticos relacionados aos “vazios” do ecossistema manguezal para cada estuário, conforme a verificação da taxa de variação da exploração de mangues nos períodos estudados, aspectos que foram, oportunamente, abordados em itens anteriores.

As avaliações da exploração das áreas de manguezais, individualizadas, forneceu a visão local e particularizada sobre cada estuário, permitindo elaborar diagnósticos superficiais, de quais as possíveis causas para o estágio de preservação de suas coberturas vegetacionais. Entretanto, não menos importante que as análises espaciais individuais sobre cada estuário da área de investigação é a avaliação do comportamento da evolução quantitativa de vegetação de manguezal de toda parte oeste do litoral do Ceará, no período compreendido entre 1985 e 2008.

Para assegurar o nível de confiança estatístico dos dados observados nas imagens de alta e média resolução espacial, para a efetiva quantificação de bosques de mangues, foram estabelecidos procedimentos para a determinação da acurácia do mapeamento dos bosques de mangues. A qualidade geométrica e posicional é medida com base na “verdade terrestre”, que compreende a verificação/interpretação dos resultados obtidos, que pode ser feita, basicamente, através de: i) visita a campo para *check* da geometria e posicionamento terrestre das feições utilizando imagens, mapas e receptores do sistema GPS; ii) verificação dos resultados da classificação por cálculo da matriz de erros ou de “confusão”, por cálculo do índice *Kappa*, que é medida que indica o nível de concordância entre observações.

É importante observar que os autores Baatz e Schäpe (2000) sugerem critérios qualitativos para a validação dos produtos gerados a partir da classificação orientada a objetos, apontando que nada substitui a análise visual e a experiência do especialista para a validação da qualidade do resultado da segmentação, e afirmam que nenhum resultado da segmentação – mesmo se quantitativamente posto à prova – irá convencer se não satisfizer o olho humano. Indicam, também, que outro critério de avaliação poderá ser utilizado com extração da informação, a partir de objetos da imagem utilizada como referência, com processamento adicional.

Já os autores Gonçalves et al. (2007, p. 5) afirmam que, por análise visual sobre imagens ortorretificadas de alta resolução, puderam comparar a geometria e posições das classes e “qualificar a classificação obtida como boa, pois não apresentou discrepâncias significativas nessa comparação”.

De outra forma, observa Lucca (1998, p. 16) que “métodos empíricos de discrepância permitem analisar o desempenho de um algoritmo através da comparação da segmentação de uma imagem produzida por ele com uma segmentação de referência [...]” e que “[...] No caso em que o dado de entrada é uma imagem real, a segmentação de referência é geralmente obtida através de uma segmentação manual da imagem de entrada baseada na interpretação visual”.

A pesquisa foi realizada sobre produtos de resoluções espaciais distintas, visto que tinham finalidades, também distintas. Para as imagens de altíssima resolução utilizadas para a quantificação de áreas de manguezais da Costa Oeste cearense, a validação das feições da classificação quantitativa foi realizada utilizando como referência para a “verdade terrestre”, as mesmas imagens ortocorrigidas pela classificação quantitativa.

Esse procedimento de validação tem respaldo nos resultados obtidos no processamento de dados da investigação e nas experiências relatadas pelos autores acima citados: Baatz e Schäpe (2000); Gonçalves et al. (2007); e Lucca (1998).

Entretanto, já para a validação da qualidade geométrica dos produtos obtidos sobre imagens de média resolução do sensor TM do satélite LANDSAT 5, para os três períodos pesquisados, foi realizada a avaliação da variação entre resultados do último período (2007/2008), comparados com os resultados observados para as imagens de altíssima resolução (2007).

Os valores observados em cada estuário nas imagens LANDSAT TM 5 foram comparados aos valores observados, em cada estuário, sobre as imagens de alta resolução espacial. A média das diferenças calculadas para todos os estuários foi de 5,16%, sendo 1,55% a menor diferença registrada para o estuário do rio Acaraú e 11,30%, a maior, para os estuários Acaraú/Zumbi (Tabela 14).

TABELA 14 – VALORES OBTIDOS NA PESQUISA POR CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO

Estuários	1º Período (Média Resolução)	2º Período (Média Resolução)	3º Período (Média Resolução)	Ano 2007 (Alta Resolução)
	Mangues (ha)	Mangues (ha)	Mangues (ha)	Mangues (ha)
Timonha/Ubatuba	5068,59	5176,53	5554,39	5840,99 (**)
Remédios	389,78	587,36	533,87	545,14
Coreaú	3155,38	3329,37	3255,46	3512,24
Guriú	269,49	363,91	448,74	464,97
Acaraú/Zumbi	2975,58	2942,37	3036,50	3379,72
Aracatimirim	39,43	94,55	146,44	157,45
Aracatiaçu	683,58	678,34	810,72	834,04
Mundaú	1140,55	957,24	956,33	971,16
Curu	43,32	57,44	118,25	124,73
Ceará	649,49	709,92	982,35	1022,24
Total (ha)	14403,44	14897,03	15843,05	16852,68

Fonte: Thiers (2013).

(**) – Valor estimado calculado por dedução através do desvio padrão do conjunto de observações

A justificativa para as diferenças entre os resultados obtidos para os produtos com resoluções distintas seria suas resoluções espaciais, também distintas. Portanto, imagens de altíssima resolução espacial não têm a mistura espectral, isto é, as características dos *pixels* são semelhantes às de seus vizinhos. De outra forma, em imagens de baixa e média resolução espacial há a mistura espectral, em que os *pixels* conterão informações espectrais pertencentes a mais de um objeto. Ressalte-se, entretanto, que a qualidade observada nos produtos gerados atende aos objetivos de avaliação das taxas de evolução da vegetação de manguezal e da quantificação de vegetação de mangues para o ano de 2007.

Em complementação à análise, no recorte temporal estabelecido, deve-se ressaltar que o estuário dos rios Timonha e Ubatuba não

possuem imagens ortocorrigidas que o recubram completamente. Em face disso, optou-se por calcular a quantificação das áreas de mangues para esse estuário através de valores estimados com correspondência à média das diferenças (5,16%) multiplicados pelos valores de áreas observados para o período anterior da pesquisa (2º Período), perfazendo uma área de 5840,99 hectares.

A classificação orientada a objeto gerou produtos de feições de bosques de mangues utilizando imagens de altíssima resolução espacial. A avaliação das geometrias dos bosques de mangues gerados nessa investigação têm exatidão superior a 95%, confirmadas por comparação com as mesmas imagens (ortofotos) utilizadas como referência para a verdade terrestre. Os produtos serão apresentados através das figuras 42 a 50.



Figura 42 – Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios
Fonte: Thiers (2013).



Figura 43 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Coreáú
Fonte: Thiers (2013).



Figura 44 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Guriú
Fonte: Thiers (2013).



Figura 45 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Acaraú
Fonte: Thiers (2013).

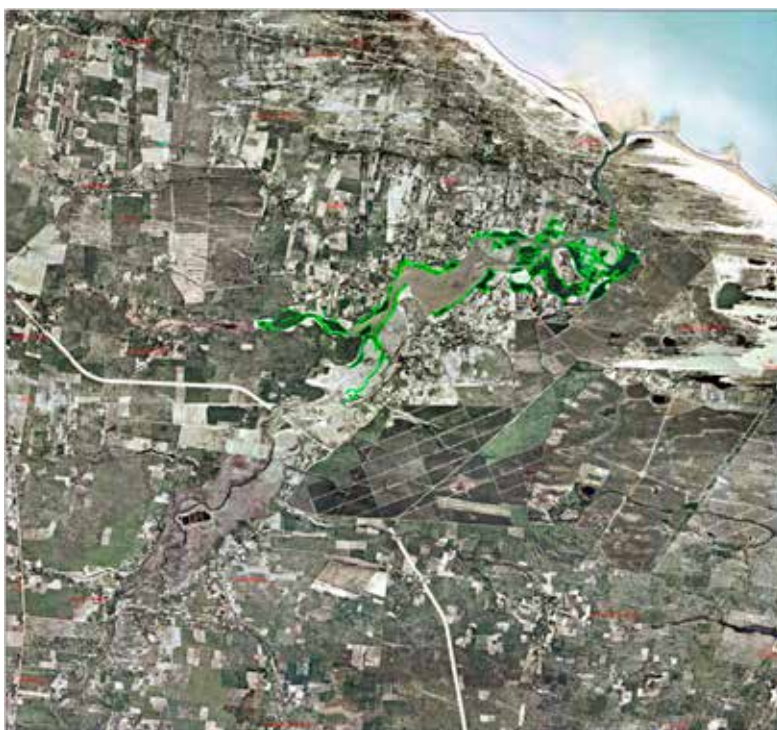


Figura 46 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Aracatimirim
Fonte: Thiers (2013).



Figura 47 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Aracatiaçu
Fonte: Thiers (2013).

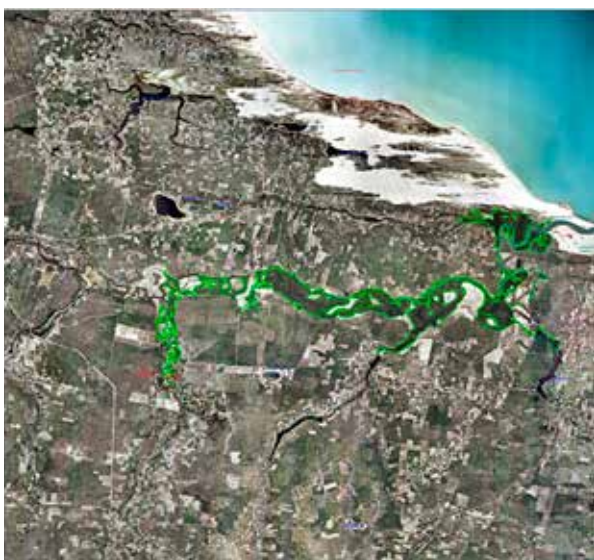


Figura 48 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Mundaú
Fonte: Thiers (2013).



Figura 49 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Curu
Fonte: Thiers (2013).



Figura 50 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Ceará
Fonte: Thiers (2013).

Análise e comparação com trabalhos correlatos

Os resultados do mapeamento das classes de feições temáticas de áreas de manguezais, utilizando algoritmo de classificação orientada a objetos, deveriam ser comparados a resultados de trabalhos realizados sobre a área da pesquisa, conforme Miranda, Martins e Soares, (1988), Herz, (1991) e Monteiro et al. (2005), como proposta anteriormente estabelecida. Entretanto, com vistas a evitar a pulverização de dados que, possivelmente, dificultaria a compreensão e entendimento dos resultados, foi feita a opção para comparação, apenas, com os trabalhos publicados por Monteiro et al. (2005) e Herz (1991). A Tabela 15 apresenta os valores obtidos pelos trabalhos anteriormente citados nesta investigação.

TABELA 15 – VALORES OBTIDOS PARA BOSQUES DE MANGUES EM TRABALHOS CORRELATOS

Estuário	MIRANDA, MARTINS E SOARES (1988)	HERZ (1991)	MONTEIRO et al. (2005)
	Mangues (ha)	Mangues (ha)	Mangues (ha)
Timonha/Ubatuba	9725,6	3400,00	5011,00
Remédios	1190,7	456,25	635,00
Coreaú	3137,5	2618,75	3530,00
Acaraú/Zumbi	3372,5	3268,75	2024,00
Aracatimirim	0	131,25	83,00
Aracatiaçu	672,5	300,00	778,00
Mundaú	1122,5	656,25	796,00
Curu	0	62,50	109,00
Ceará	675,0	600,00	881,00
Total (ha)	16523,80	8225,00	8836,00

Fonte: Thiers (2013).

Validação da quantificação de mangues em imagens de radar realizada por Herz (1991)

Para a validação da base de dados de Herz (1991), serão utilizadas as imagens originais de radar de visada lateral, adquiridas para o Projeto RADAMBRASIL, relativas aos estuários do rio Coreaú, rio dos Remédios e rio Ceará.

O trabalho *Manguezais do Brasil* (HERZ, 1991), que calculou a quantificação de áreas de manguezais em estuários da Costa Brasileira, é considerado o marco na atividade de mapeamento de áreas com a utilização da técnica de sensoriamento remoto. As áreas do litoral cearense foram imageadas por radar de visada lateral, com resolução de 16m, no ano de 1976.

Para a avaliação dos valores dos resultados obtidos pelo autor, foi efetuada a classificação orientada a objeto sobre as imagens de radar originais, disponíveis ao público pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2012), registradas, neste trabalho, com imagens, geocover.

Entretanto, ressalte-se que a restrição ao uso dos dados relativos a apenas três estuários, acima referidos, está diretamente relacionada à baixa qualidade das imagens para o restante da área de estudo.

O valor da quantificação dos bosques de mangues para o estuário do rio Ceará ficou em 731,20 hectares, com diferença registrada para dados obtidos em Herz (1991) superior a 23% (Figura 51).

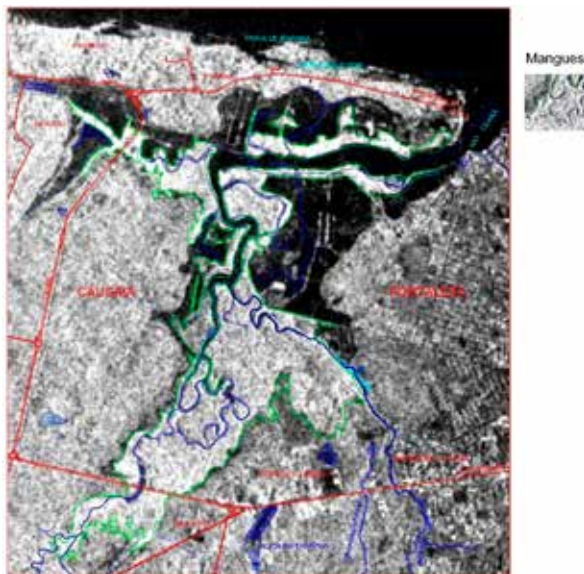


Figura 51 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará Imagens de Radar (1976)
Fonte: Thiers (2013).

Já para o estuário do rio Coreaú (Figura 52), o valor da quantificação de bosques nas imagens de radar (1976) utilizadas para a produção das fotocartas na escala de 1:250.000 totalizou 4750,09 hectares. Portanto, a diferença aponta para valores percentuais superiores a 81%, relativos aos dados publicados em Herz (1991).

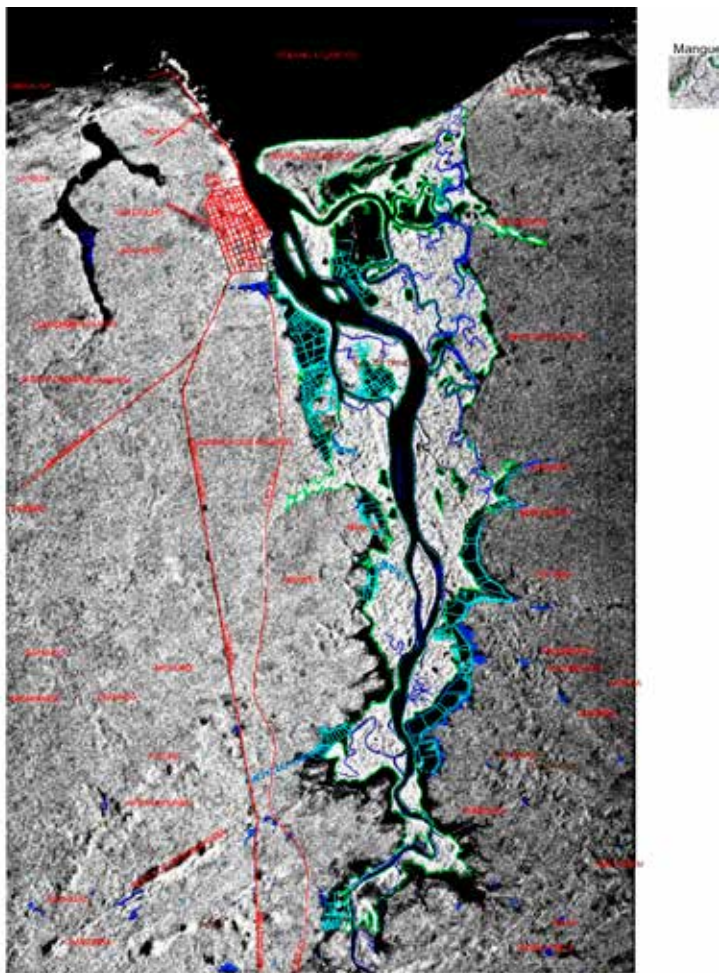


Figura 52 – Representação espacial de bosques de mangue no rio Coreaú imagens de Radar (1976)
Fonte: Thiers (2013).

A quantificação dos bosques de mangues do estuário do rio dos Remédios, calculada por produtos da classificação orientada a objeto (Figura 53), totalizou 868,66 hectares, compreendendo uma discrepância relativa aos dados publicados no trabalho de Herz (1991) acima de 90%.

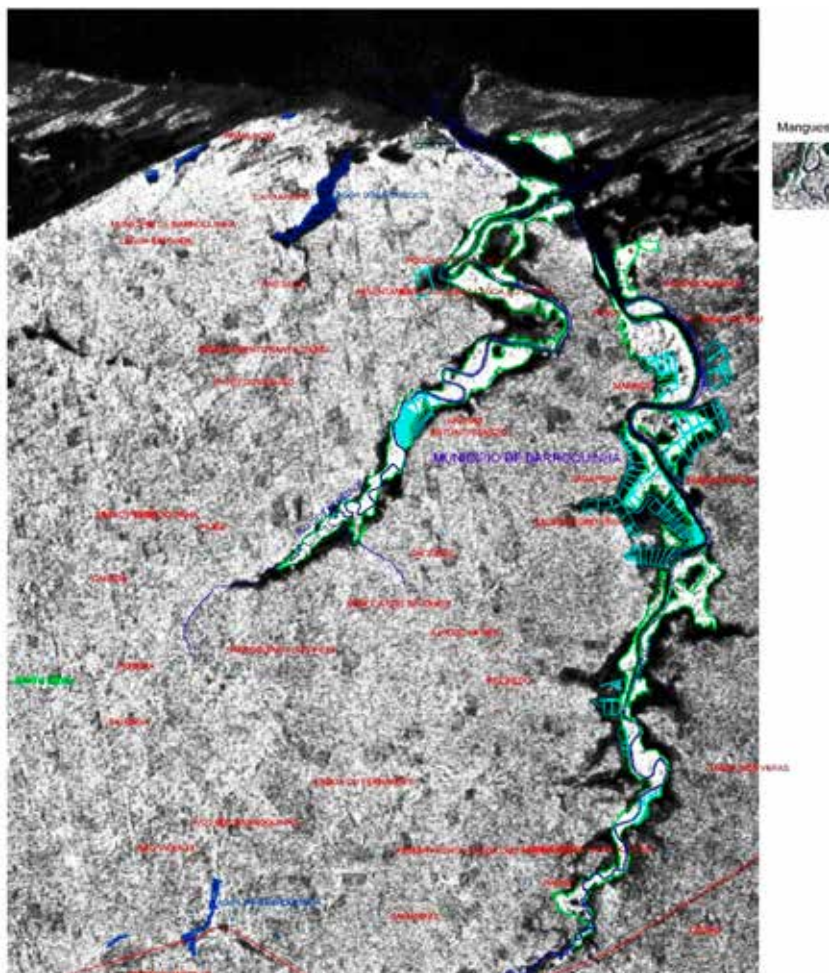


Figura 53 - Representação espacial de bosques de mangue no rio dos Remédios imagens de Radar (1976)
Fonte: Thiers (2013).

A Tabela 16 apresenta a comparação entre valores observados por Herz (1991), com classes identificadas visualmente sobre fotocartas analógicas na escala de 1:250.000 e valores adquiridos por classificação orientada a objeto, conforme figuras acima (51, 52 e 53).

Observam-se grandes discrepâncias em relação aos dados publicados por Herz (1991) e os dados obtidos por classificação orientada a objeto, nesta pesquisa, sobre as mesmas imagens originais de radar.

TABELA 16 – COMPARAÇÃO DE QUANTIFICAÇÃO DE MANGUEZAIS EM HERZ (1991) COM RESULTADOS ADQUIRIDOS POR CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO NESTA PESQUISA

Estuários	HERZ (1991) (1)	THIERS (2013) (2)	Incremento (2)/(1)
	Mangues (ha)	Mangues (ha)	
Timonha/Ubatuba	3401,19	(***)	-
Remédios	456,41	868,66	90,39%
Coreaú	2619,67	4750,09	81,32%
Acaraú/Zumbi	3268,75	(***)	-
Aracatimirim	131,25	(***)	-
Aracatiaçu	300,11	(***)	-
Mundaú	656,48	(***)	-
Curu	62,52	(***)	-
Ceará	600,21	731,20	21,82%

Fonte: Thiers (2013).

(***) – Imagens de radar recuperadas não têm qualidade suficiente para análise quantitativa do estuário.

Em complementação aos objetivos estabelecidos para a pesquisa, foram procedidas avaliações dos produtos gerados por Herz (1991) e Monteiro et al. (2005).

A Tabela 17 apresenta a comparação entre valores observados por Herz (1991) e valores adquiridos por classificação orientada a objeto, nessa investigação, naqueles estuários que possuíam imagens de radar com qualidade radiométrica.

TABELA 17 – COMPARAÇÃO DE QUANTIFICAÇÃO DE MANGUEZAIS EM HERZ (1991) COM RESULTADOS ADQUIRIDOS POR CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO NESSA PESQUISA

Estuários	HERZ (1991) (1)	THIERS (2013) (2)	Incremento (2)/(1)
	Mangues (ha)	Mangues (ha)	
Remédios	456,41	868,66	90,39%
Coreaú	2619,67	4750,09	81,32%
Ceará	600,21	731,20	21,82%

Fonte: Thiers (2013).

A análise leva à conclusão de que os resultados discrepantes são decorrentes da qualidade dos produtos e métodos utilizados na geração das fotocartas, processadas analogicamente e montadas por “processo manual”: “[...] assim, são produtos fotográficos de terceira geração e têm resolução menor do que as imagens originais” (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2012, p. 2).

Por outro lado, para arrematar as justificativas que explicam as elevadas discrepâncias, pode-se apontar para o método utilizado para a quantificação das áreas de mangues: Pontos de Contagem sobre base de dados na escala de 1/250.000. A escala de 1:250.000 é relativamente pequena para mapeamento de feições de dimensões reduzidas: o erro de graficismo limita a representação gráfica de elementos naturais a 0,2mm da escala final. Para a abordagem em questão, apenas objetos com dimensões superiores a 2500m² (0,25ha) poderiam ser representados, nessa escala de mapeamento, com dimensões gráficas de 0,2mm. Em tempo, Monteiro (2005, p. 36) afirma que em Herz (1991) o “[...] método utilizado para o mapeamento das áreas de manguezais do Brasil desconsidera superfícies com áreas inferiores a 0,5km²”, que equivale afirmar que áreas com dimensões inferiores a 50 hectares não foram mapeadas.

Validação da quantificação de mangues em imagens LANDSAT 7 ETM+ realizada por Monteiro et al. (2005)

A validação da base de dados de Monteiro et al. (2005), que é parte integrante da publicação *Estudo das Áreas de Manguezais do Nordeste do Brasil*, gerada através da classificação de imagens baseada em regras do especialista, será efetuada por comparação com os valores observados para a quantificação das áreas de bosques de mangues, obtida através de imagens TM com resolução espacial de 30m e com produtos obtidos com processamento de imagens de altíssima resolução espacial.

As imagens utilizadas pelos autores do trabalho em questão foram adquiridas pelo sensor ETM+ do satélite LANDSAT 7 com resolução espacial de 30m. As composições coloridas utilizadas foram fusionadas com a banda pancromática para aumentar a resolução espacial para 15m.

Informam os autores Monteiro et al. (2005, p. 23) que foram aplicados os procedimentos de interpretação visual “ [...] nas imagens digitais monocanais e coloridas resultantes, utilizando as variações de cor, brilho e intensidade dos pixels na determinação espacial detalhada dos elementos da paisagem” E que “[...] foram utilizados os procedimentos automáticos de detecção disponíveis nos softwares”.

A classificação baseada na experiência do analista humano poderá fornecer resultados com acurácia satisfatória, na dependência da qualidade do processamento digital na imagem: correções radiométricas; tipo de filtragem; balanceamento de histograma, escolha da faixa do espectro e da resolução espacial que atenderão à finalidade; e tipos de feições que deverão ser objeto da extração de informação.

A Tabela 18 contém os valores da quantificação de manguezais em Monteiro et al. (2005) adquiridos por classificação baseada em regras do especialista sobre imagens da missão LANDSAT, fusionadas para 15 m de resolução espacial. Ressalte-se que, na referida tabela, não constam os dados relativos ao estuário do rio Guriú, em virtude de não estar quantificado no estudo de Monteiro et al. (2005).

TABELA 18 – COMPARAÇÃO DE QUANTIFICAÇÃO DE MANGUEZAIS EM MONTEIRO ET AL. (2005) COM RESULTADOS ADQUIRIDOS POR CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO NESTA PESQUISA

	MONTEIRO et al. (2005) ETM+	THIERS (2013) TM	THIERS (2013) Ortofotos/ IPECE
	Mangues (ha)	Mangues (ha)	Mangues (ha)
Timonha/ Ubatuba	5011,00	5554,39	5840,99 (**)
Remédios	635,00	533,87	545,14
Coreaú	3530,00	3255,46	3512,24
Acaraú/Zumbi	2024,00 (****)	3036,50	3379,72
Aracatimirim	83,00	146,44	157,45
Aracatiaçu	778,00	810,72	834,04
Mundaú	796,00	956,33	971,16
Curu	109,00	118,25	124,73
Ceará	881,00	982,35	1022,24
Total (ha)	13.847,00	15.843,05	16.387,71

Fonte: Thiers (2013).

(**) – Valor estimado calculado por dedução através do desvio padrão do conjunto de observações

(****) – Não foram considerados bosques de mangues relativos ao estuário Zumbi

A Figura 54 apresenta, graficamente, a quantificação dos dados obtidos através do sensor ETM+ (15m) em Monteiro et al. (2005) e valores de quantificação obtidos pelo sensor TM (30m) para o terceiro período de análise, com a exclusão de dados dos estuários do rio Acaraú; o rio Guriú não foi objeto do trabalho publicado.

A análise realizada com dados relativos ao sensor ETM+ do satélite LANDSAT 7, quantificados em Monteiro et al. (2005), comparativamente aos valores de mangues calculados nessa investigação com a utilização de imagens obtidas pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5, permite verificar discrepância superior a 14,41%, se a análise é feita em relação ao quantitativo para toda a Costa Oeste. No entanto, faz-se importante ressaltar que os autores não consideraram o cálculo do estuário

do rio Zumbi. Esse é o entendimento para a diferença maior, nesse caso. Se desconsiderados os dados do referido estuário, a diferença de valores quantificados para as duas pesquisas passa a girar em torno de 8,32%.

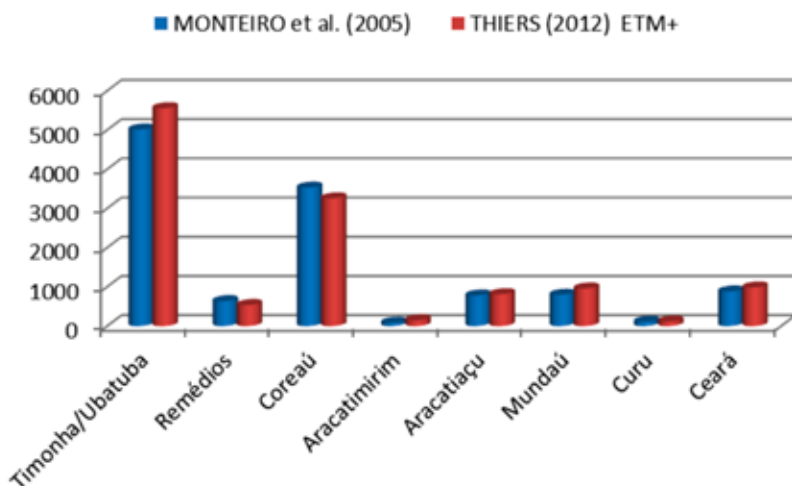


Figura 54 – Quantificação das áreas de mangue obtidas com o sensor TM em relação a Monteiro et al. (2005)
Fonte: Thiers (2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa investigação procedeu à elaboração de bases de dados para a análise da dinâmica espacial da vegetação de mangues no Litoral Oeste do Ceará utilizando imagens de média resolução espacial. Para atender aos objetivos propostos, foi elaborada, também, base de dados para a quantificação dos bosques de mangues para o ano de 2007, com acurácia com nível de confiança superior a 95%: foram utilizadas imagens com altíssima resolução espacial.

A validação dos dados espaciais obtidos para as imagens de média resolução apresentou resultados com acurácia em torno de 90%, considerando como referência, para a verdade terrestre, as imagens ortocorrigidas com resolução de 2m. Para a construção das duas bases de dados da vegetação de mangue, foi adotado o método de classificação orientada a objetos, que traduz o *Estado da Arte* para a extração de informações sobre imagens de sensores aerotransportados.

No transcorrer da investigação adotou-se como objetivo, também, identificar as causas que justificariam discrepâncias entre resultados de trabalhos realizados em diferentes épocas e por diferentes grupos de pesquisadores. Adiante-se que às discrepâncias identificadas nos trabalhos correlatos analisados estão associadas as características técnicas dos produtos utilizados e as metodologias de investigação utilizadas na época.

Objetivamente, ratifique-se que a quantificação de áreas de manguezais com imagens de média resolução espacial tinha, por função pre-cípua, fazer a análise da dinâmica da evolução espacial da vegetação de mangue do espaço analisado. Já a utilização de imagens de altíssima

resolução espacial tinha por finalidade a quantificação das mesmas áreas de mangues na Costa Oeste do Ceará, com acurácia, para o ano de 2007, e para servir de referência para validação de todo o processo de Análise da Dinâmica da vegetação de mangues na costa cearense.

O estudo da dinâmica espacial utilizou-se de imagens de média resolução espacial adquiridas pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5, para o mapeamento dos bosques de mangue que abrange o recorte temporal compreendido entre 1985 e 2008, mas que contém imagens dos anos de 1988, 1996, 1998, 1999, 2000, 2006 e 2007. Como já observado anteriormente, em decorrência da indisponibilidade de imagens com recobrimento para o longo período de análise estabelecido para a investigação, foram utilizadas imagens de vários anos, que foram agrupadas por períodos para proceder à investigação.

A Tabela 14 apresentou as quantificações totais de áreas de bosques de mangues para os três períodos investigados, valores observados para feições de mangues calculadas por classificação quantitativa. A análise realizada, comparativamente aos períodos, permite constatar que no intervalo entre o primeiro e o último período houve acréscimo de áreas de bosques de mangues próximo a 10%, variando de 14.415,19 hectares a 15.843,05 hectares, que corresponde à incorporação de valores de área próxima a 1427 hectares desse complexo vegetacional.

A evolução da área coberta por bosques de mangues nos estuários da costa cearense é representada através da Figura 55, onde a curva ascendente identifica crescimento mais acentuado no segundo período da análise, que marca o final da década de 1990 e início do século XXI. Entretanto, constata-se que esse recorte temporal se enquadra em período registrado por redução na produção de crustáceos em cativeiro no litoral cearense, associada a fatores que fogem ao escopo desta pesquisa. A análise do gráfico em questão identifica menor crescimento de áreas de mangues entre o primeiro período e o segundo, com incorporação de apenas 481,80 hectares, correspondendo a pouco mais de 3%.

A avaliação da variação correspondente a quase 10% se apresenta como alentadora. Entretanto, análise mais criteriosa desse incremento desperta apreensão e revela aspectos preocupantes, visto que a análise individualizada para o estuário do rio Aracatimirim verificou cresci-

mento superior a 139%, correspondendo à variação de pouco mais de 39 hectares para mais de 146 hectares de vegetação de mangue no estuário.

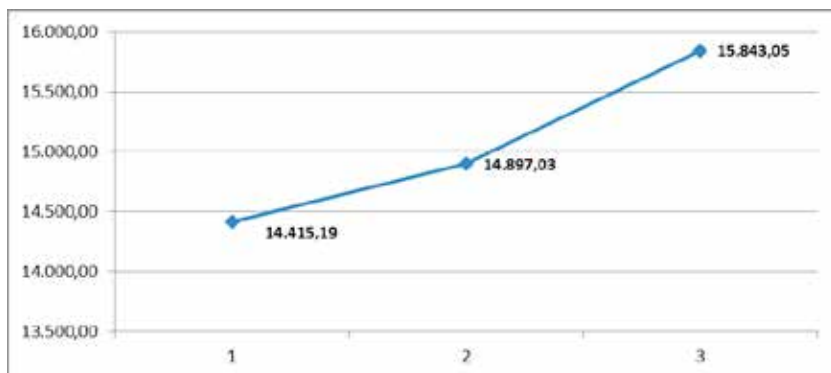


Figura 55 – Dinâmica quantitativa das áreas de mangue na costa oeste cearense
Fonte: Thiers (2013).

Se analisado o conjunto de estuários com áreas de vegetação superiores a 1000ha, verifica-se que os incrementos de coberturas vegetacionais apresentaram-se discretos, com 2% para o estuário do rio Acaraú e 3% para o rio Coreaú. É preocupante o estudo relacionado ao estuário do rio Mundaú, onde houve retração da vegetação de mangue em torno de 17%, que representa a supressão de 184 hectares da vegetação.

Entretanto, se verifica como exceção que os resultados observados no ambiente estuarino do rio Timonha, onde a superfície ocupada por vegetação de mangue representa a maior dimensão territorial da área de estudo, com mais de 5.000 hectares, houve incremento superior a 9%, contribuindo sobremaneira para a incorporação de alguns pontos percentuais de “crédito” às áreas regeneradas. Pode-se depreender que a boa regeneração nesse estuário pode ser devida à baixa ocupação humana na referida bacia, aspecto que fora oportunamente tratado, anteriormente.

A Figura 56 apresenta os quantitativos totais das áreas ocupadas por vegetação de mangue nos estuários da costa oeste cearense, obtidos através da classificação orientada a objetos nas imagens de média resolução espacial do sensor TM do LANDSAT 5, agrupadas por períodos de observação.

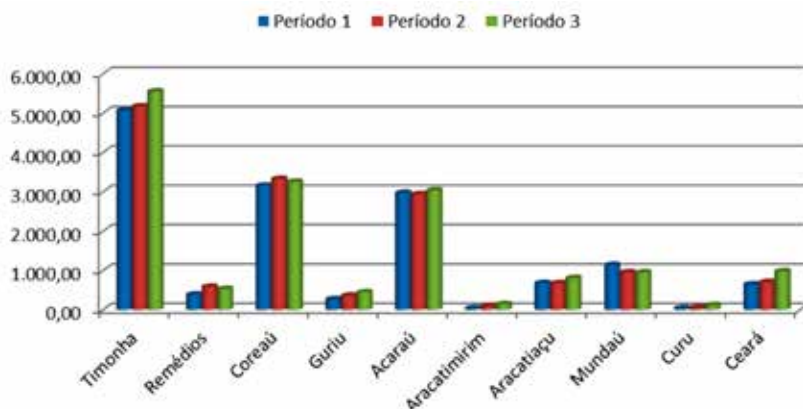


Figura 56 – Evolução dos bosques de mangue nos estuários da costa oeste cearense
Fonte: Thiers (2013).

Conforme observado nas tabelas e figuras anteriores, é possível constatar que nos estuários de maior dimensão territorial a regeneração da vegetação se deu em ritmo mais lento que o observado nos pequenos estuários. Esses dados, aliados às investigações de campo, permitem constatar que nas maiores bacias hidrográficas os impactos derivados das atividades humanas assumem maiores proporções, com efeitos extensivos aos estuários. Ademais, é possível verificar que a dinâmica estuarina nesses ambientes apresenta um maior nível de comprometimento.

Vários fatores podem ser associados à redução da capacidade de regeneração dessas áreas, tais como: degradação da qualidade das águas e, por conseguinte, na dinâmica do estuário; aumento do aporte de sedimentos no estuário devido aos desmatamentos à montante; avanço de atividades produtivas sobre o manguezal; intensificação da mobilização dos sedimentos dunares sobre o manguezal em virtude da ocupação da zona costeira; mudanças na dinâmica costeira em face da redução do aporte de sedimentos na deriva litorânea; alteração na penetração da cunha salina em razão da modificação do fluxo hídrico no estuário; dentre outros. Mesmo em face dos pontos listados, não é objetivo dessa pesquisa proceder a aprofundamentos de aspectos que interferem na alteração do ecossistema manguezal e, por conseguinte, na capacidade de regeneração da vegetação de mangue.

No entanto, é imprescindível destacar a redução da capacidade de recuperação dos sistemas de maiores dimensões territoriais, demonstrando que as intervenções derivadas das atividades antropogênicas afetam, de maneira decisiva, a dinâmica e o equilíbrio ambiental. Tais fatos justificam a adoção de medidas mitigadoras de modo a reduzir os impactos negativos sobre esse ambiente.

Portanto, tornam-se claras as vantagens para a utilização desse método de classificação de áreas de manguezal e, certamente, de outras temáticas, em relação às metodologias tradicionais de classificação.

Mesmo que se leve em conta os incrementos das áreas recobertas por bosques de mangue no período analisado, é importante ressaltar que não se pode analisar essa dinâmica de forma linear, visto que condições locais relacionadas à forma de uso, ocupação e exploração dos recursos ambientais podem contribuir, decisivamente, na diferenciação do comportamento dos bosques de mangue, mesmo que os tensores estejam relacionados a fatores que afetam, indistintamente, os manguezais.

Entretanto, os dados obtidos confirmam que observações empíricas e referências existentes na literatura indicam elevada capacidade de regeneração do sistema manguezal e sua vegetação característica, o mangue. No entanto, como assinalado anteriormente, ressalte-se que essa capacidade de recuperação é dependente da manutenção das propriedades dos elementos que formam o ecossistema manguezal para manter a funcionalidade dos componentes geoambientais e os serviços ambientais que esse ecossistema desempenha.

Enfatize-se que a elevada fragilidade do ecossistema manguezal, face aos processos da dinâmica natural e ao desenvolvimento de atividades antropogênicas, tem como principais tensores: i) ocupação desordenada ao longo da bacia de drenagem; ii) desmatamentos à montante; iii) assoreamento; iv) alterações na dinâmica eólica sobre o campo de dunas; v) avanço das marés, em virtude das construções na linha de costa; vi) poluição e contaminação dos recursos hídricos; vii) instalação de criatórios de camarão sobre as áreas de apicum e manguezal; viii) avanço da ocupação urbano-industrial sobre os manguezais, e outros.

Por essa vertente, torna-se obrigatório o desenvolvimento de atividades sustentáveis e compatíveis com a capacidade de suporte desse

ambiente, em que a exploração sustentável poderá ser implementada por atividades que não promovam danos ao ecossistema, como: i) a pesca artesanal e de subsistência, devendo-se evitar a sobrepesca e a pesca em períodos de reprodução; ii) desenvolvimento de atividades turísticas, educacionais e de pesquisa científica.

Constatou-se que o método de Análise de Imagens Baseada em Objetos se apresenta como ferramenta robusta para o mapeamento temático em pesquisas, principalmente porque haverá disponibilidade de imagens com resolução espacial de 15m, 5m e 2,5m, que recobrirão todo o Estado do Ceará.

A região oeste do litoral cearense vem sofrendo os impactos derivados dos grandes empreendimentos de infraestrutura para atendimento à atividade turística, sobretudo a partir da consolidação do sítio de Jericoacoara como um dos principais destinos turísticos do Brasil. Essa pressão tende a se intensificar a partir da instalação do aeroporto para acesso à referida praia, trazendo inúmeras transformações socioespaciais à área. Os resultados alcançados e a disponibilidade das informações que evidenciaram evolução espaçotemporal da planície costeira, deverão fundamentar ações voltadas para a gestão integrada e sustentabilidade da planície costeira.

Portanto, as discrepâncias entre resultados que proporcionaram informações sobre a ampliação de áreas de manguezais no recorte temporal de 1978 a 2004 mostram uma tendência de ampliação do bosque de manguezal. Evidenciaram que se trata de um ecossistema que ocupou antigas áreas de salinas abandonadas com a respectiva retomada dos fluxos de matéria e energia. Entretanto, os dados também demonstraram que a carcinicultura atuou como um dos principais tensores que minimizaram o potencial de ampliação do bosque de manguezal, a dinâmica ecológica e suas relações sociais no período analisado. Resta-nos, também, afirmar que os diferentes métodos, algoritmos e técnicas utilizados nos trabalhos citados não justificariam resultados tão discrepantes com a realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Bases conceituais e papel do conhecimento na previsão de impactos. In: MULLER-PLANTENBERG, G.; AB'SABER, A. N. (Org.). *Previsão de impactos: o estudo de impacto ambiental no leste, oeste e sul. Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha*. São Paulo: Edusp, 1994.

ANDRADE, J. B. *Fotogrametria*. Curitiba: SBEE, 1998.

ANTUNES, A. F. B. *Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial*. 2003. 146 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

ANTUNES, A. F. B.; CORTESE, S. C. Determinação de áreas de ocupação irregulares por meio de análise orientada a objetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007. p. 481-487.

ANTUNES, A. F. B.; LUZ, N. B. Classificação orientada a objetos de imagens Spot-5 com a finalidade de mapeamento do uso da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. *Anais...* Natal: INPE, 2009. p. 909-917.

ARAÚJO, M. V. et al. Análise geoambiental da área estuarina do rio Acaraú, município de Acaraú – Ceará – Brasil, usando técnicas de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. *Anais...* Natal: INPE, 2009. p. 4561- 4568.

ARONOFF, S. *Geographic information systems: a management perspective*. Ottawa: WDL Publications, 1995.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J.; BLASCHKE, T. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, 12*. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000. Karlsruhe. Herbert Wichmann Verlag, p. 12-23, 2000. Disponível em: <<http://www.definiens.com/pdf/publications/baatzFP12.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

BARBIER, E. B. et al. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, v. 81, n. 2, p. 169-193, 2009.

BERNARDI, H. V. F. et al. Classificação digital do uso do solo comparando os métodos “pixel a pixel” e orientada ao objeto em imagem QuickBird. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007. p. 5595-5602.

BERTRAND, G. *Paisagem e geografia física global: esboço metodológico*. São Paulo: Instituto de Geografia, v. 13, p. 1-21, 1972. (Caderno de Ciências da Terra).

BLASCHKE, T.; KUX, H. *Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores e métodos inovadores*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BLASCHKE, T.; STROBL, J. *What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS*. 2001. Disponível em: <<http://www.definiens.com>>. Acesso em: 12 jun. 2004.

BRAGA, R. *Plantas do nordeste: especialmente do Ceará*. 5. ed. Fortaleza: Fundação Guimarães Duque, 2001.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. *Código Florestal Brasileiro*.

BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*: promulgada em 5 de outubro de 1988, atualizada até a Emenda Constitucional nº 39, de 19 de dezembro de 2002. 31. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução Conama n° 302, de 20 de março de 2002*. Diário Oficial da União n° 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, p. 67-68. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=298>>. Acesso em: 21 ago. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução Conama n° 303, de 20 de março de 2002*. Diário Oficial da União n° 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, p. 68. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=298>>. Acesso em: 13 jul. 2012.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Projeto RADAMBRASIL*. Rio de Janeiro, 1978.

BUARQUE, S. C. *Metodologia de planejamento do desenvolvimento local e municipal sustentável*. 2. ed. Brasília: IICA, 1999.

CÂMARA, G. et al. *Anatomia de sistemas de informação geográfica*. Campinas: Unicamp, 1996.

CAMARGOS, M. N. *Análise da proteção jurídica dos manguezais no Brasil: conservação desse ecossistema e a sua utilização por populações tradicionais*. In: FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 3., São Paulo: ANAP, v. 3, 2007.

CAMPOS, A. A. *A importância da proteção do manguezal*. 2010. Disponível em: <<http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=785643>>. Acesso em: 24 nov. 2012.

CAMPOS FILHO, P. *Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando lógica Fuzzy*. 2004. Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/7823.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2009.

CHAVES, J. M.; SANO, E. E.; MENESES, P. R. *Uso de imagens de radar como ferramenta auxiliar na identificação de elementos geológicos na região do cerrado*. Sitientibus, Feira de Santana, n. 22, p. 55-69, jan./jul. 2000.

CHEN, P. *Modelagem de dados: a abordagem entidade relacionamento para projeto lógico*. São Paulo, McGraw-Hill:MaKron, 1990.

CEARÁ. *Plano de manejo da APA do rio Ceará*. Fortaleza, 2005.

CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/engcart/PDASR/sensores.html>>. Acesso em: 25 maio 2011.

CLARKE, K. C. *Getting started with geographic informations systems*. U.S.A: Prentice-Hall, Inc, 1999.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. *Projeto RADAM-D: preservação e disseminação das imagens originais geradas pelos projetos RADAM e RADAMBRASIL*. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=796&sid=9>>. Acesso em: 14 mar. 2012.

COSTA NETO, N. D. C. *Crimes e infrações administrativas ambientais*. Brasília: Editora Brasília Jurídica Ltda, 2000.

CRÓSTA, A. P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas: IG/Unicamp, 1993.

CUNHA-LIGNON, M. *Dinâmica do manguezal no sistema de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo*. 2001. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

EDWARDS, T. C. et al. *Gap analysis: an environmental information system*. Final Project Report 95-1, Utah Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, Utah State University, Logan, p. 68, 1995.

ENCARNAÇÃO, S. A.; ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A. *Segmentação multirresolução e classificação orientada a objecto de imagens SPOT*. 2007. Disponível em: <http://euref.eu/servicos/DPCA/biblioteca/PublicacoesIGP/ESIG_2004/p068.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 6 set. 2011.

ENVI AMBIENTE PARA VISUALIZAÇÃO DE IMAGENS (BRASIL). *Classificação por regra: segmentação orientada ao objeto*. Disponível em: <<http://en.wiktionary.org/wiki/anthropization>>. Acesso em: 27 ago. 2012.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado da arte. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, Maringá, v. 30, n. 4, p. 330-390, 2008.

FREIRE, G. S. S.; OLIVEIRA, A. M. E. Mangroves of northeastern Brazil. In: LACERDA, L. D.; FIELD, C. D. (Ed.). *Conservation and sustainable utilization of mangrove forests in Latin America and Africa regions*. Okinawa: ITTO/ISME, 1993.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing for Environment*, p. 185-201, 2002.

GONÇALVES, F. C. A.; NOGUEIRA, J. F. Delimitação e caracterização da APA do estuário do rio Aracatiaçu – Amontada-CE. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, 2008. Disponível em: <<http://www.uvanet.br/regis/index.php/RCGS/article/view/71/72>>. Acesso em: 8 dez. 2012.

GONÇALVES, R. M. et al. Classificação hierárquica e fuzzy de imagens de alta resolução. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007. p. 5595-5602.

GUIMARÃES, A. S. *Análise multitemporal de manguezal do litoral Norte de Pernambuco: a participação da aquíicultura na conversão de áreas de manguezais em viveiro*. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

HERZ, R. *Manguezais do Brasil*. São Paulo: Edusp, 1991.

HERZ, R.; JASKOW, A. Remote sensing of mangrove areas on the Brazilian coastal and ocean management. In: SYMPOSIUM ON COASTAL OCEAN MANAGEMENT, 4., Baltimore, v. 2, p. 1382-1389, 1985.

HERZ, R. *Sensoriamento remoto: gerenciamento costeiro*. Relatório final de estágio de pós-doutorado. Brest Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer – IFREMER Centre Océanologique de Bretagne, 1984.

HARA, L. T. *Técnicas de apresentação de dados em geoprocessamento*. 1997. 127 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Introdução ao processamento digital de imagens*. Primeira Divisão de Geociências do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. 94 p. (Manuais Técnicos em Geociências, 9).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Projeto RADAMBRASIL*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *The scientific basis is the most comprehensive and up-to-date scientific assessment of past, present and future climate change*. 2001. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/pdf/wg1_tar-front.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2012.

JANOTH, J. et al. *Sensoriamento remoto e SIG: novos sistemas sensores e métodos inovadores*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 99-103, 2007.

JARA, C. J. *A sustentabilidade do desenvolvimento local: desafios de um processo em construção*. Brasília: PRORURAL/IICA, 1999.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. Tradução de José Carlos Neves Epiphânio (Coord.) et al. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

KOHAGURA, T. *Lógica Fuzzy e suas aplicações*. Universidade Estadual de Londrina. Departamento de computação. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Ciências da Computação. Paraná, 2007.

LABA, M. et al. Conventional and fuzzy accuracy assessment of New York gap analysis project land cover map. In: REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 81., 2002. p. 443-455.

LACERDA, L. D. Os manguezais do Brasil. In: OS MANGUEZAIS E NÓS. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

LACERDA, L. D.; MARINS, R. V. River damming and changes in mangrove distribution. *ISME/Glomis Electronic Journal*, v. 2, n. 1, 2002.

LUCCA, E. V. D. *Avaliação e comparação de algoritmos de segmentação de imagens de radar de abertura sintética*. 1998. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1912/rep/sid.inpe.br/deise/2000/04.27.16.28>>. Acesso em: 16 jan. 2013.

MARIANO, D. L. S. *Bio digital* – Atlas da biodiversidade faunística dos ecossistemas aquáticos de Sergipe. Disponível em: <<http://www.labec.com.br/biodigital/ambientes/manguezais/aspectosecologicos/>>. Acesso em: 14 jun. 2012.

MARINS, R. V. et al. Efeitos da açudagem no rio Jaguaribe. *Ciência Hoje*. 2003.

MARINS, R. V.; DIAS, F. J. S. Alterações na hidrogeoquímica do estuário do Rio Jaguaribe (CE): descarga ou retenção de materiais. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 9., 2003, Belém. *Anais...* Belém, 2003. p. 480-482.

MEIRELES, A. J. A. Impactos ambientais decorrentes das atividades da carcinicultura ao longo do litoral cearense, Nordeste do Brasil. *Revista Mercator*, Fortaleza, n. 12, p. 83-106, 2007.

MEIRELES, A. J. A.; CAMPOS, A. A. Os componentes geomorfológicos, funções e serviços dos complexos estuarinos do Timonha/Ubatuba (CE/PI), Nordeste do Brasil. *Revista da ANPEGE*, v. 6, n. 6, 2010.

MIRANDA, P. T. C.; MARTINS, M. L. R.; SOARES, Z. M. L. Levantamento e quantificação das áreas de manguezais no Estado do Ceará (Brasil) através de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1988, Natal. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 1988. p. 90-94.

MONTEIRO, L. H. U. et al. Evolução das áreas de manguezal do litoral do Nordeste Brasileiro entre 1978 e 2004. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão*, Natal, 2005.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Disponível em: <<https://www.zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl>>. Acesso em: 15 maio 2012.

NASCIMENTO, S. *Estudo da importância do apicum para o ecossistema de manguezal*. Relatório Técnico Preliminar. Sergipe: Governo do Estado do Sergipe, 1993. 27 p.

NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Blucher, 2008.

PAHL, M. *Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores*. 2003. Dissertação (Doutorado em Eletro-Técnica e Tecnologia de Informação) - Universidade de Hannover, Hannover, 2003.

PELLEGRINI, J. A. C. *Caracterização da planície hipersalina (Apicum) associada a um bosque de mangue em Guaratiba, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro*. 2000. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/tesesdisponiveis/21/21131/tde-26112008-134014>>. Acesso em: 26 jul. 2012.

PILZ, H.; STROBL, J. Análise de impermeabilização com base em ortofotografias aéreas coloridas digitais através de processamento de imagens orientadas a objetos. In: BLASCHKE, T.; HERMANN, K. *Sensoriamento remoto e SIG: novos sistemas sensores e métodos inovadores*. 2. ed. atual., São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 99-103.

PINHO, C. M. D. *Análise orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP*. 2005. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/11.23.13.40>>. Acesso em: 13 set. 2009.

PINHO, C. M. D.; KUX, H. H.; ALMEIDA, C. M. Elaboração de rede semântica para classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos: o caso de São José dos Campos – SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007. p. 637-644.

PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S.; EPIPHANIO, J. C. N. Influência da resolução espacial sobre a quantificação de áreas não florestadas em ambiente amazônico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* São Paulo: Sonopress, 2001.

PUEBLA, J. G.; GOULD, M. *SIG: sistemas de información geográfica*. Madrid: Síntesis, 1999.

RENNÓ, C. D. *Notas de aula*. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/~camilo/estatistica/>>. Acesso em: 14 jan. 2013.

RIBEIRO, B. M. G. Extração de superfícies impermeáveis a partir de imagens quickbird aplicando classificação orientada a objeto. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. *Anais...* Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p. 259-269.

RICHARDS, J. A. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. Austrália: Springer Berlin Heidelberg, 1995.

RIVERA, E. S.; CORTÉS, I. S. Las experiencias del instituto nacional de ecología en la valoración económica de los ecosistemas para la toma de decisiones. México: Instituto Nacional de Ecología. *Gaceta Ecológica*, p. 93-105, 2007. (Número Especial, 84-85).

SANTOS, M. C. F. V. Apicuns, salgados e manguezais e a ideologização do debate sobre a carcinicultura marinha brasileira. *Revista da Associação Brasileira de Criadores de Camarão*, 4. ed., ano 7, dez. 2005.

SALES, M. C. L.; LOURENÇO, R. M. Caracterização geoambiental e análise sobre processos de degradação de um trecho do médio curso do Rio Aracatiaçu - Miraima/Ceará. In: ENCONTRO NACIONAL DOS

GEÓGRAFOS, 16., 2010, Porto Alegre. *Anais... Crises, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças. Espaço de Diálogo e Práticas*, Porto Alegre, 2010.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. Brazilian mangroves: a historical ecology. *Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*, v. 51, n. 3, p. 274-286, 1999.

SEMINÁRIO DE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 3., 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1998. 160 p.

SENDRA, J. B. *Sistemas de información geográfica*. Madrid: Rialp, 2000.

SILVA, J. F. *Ensaio sobre balanço de radiação no ambiente costeiro: sistema estuarino-lagunar Cananéia-Iguape*. 1991. 139 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, São Paulo, 1991.

SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. *Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2004.

SILVA, J. F.; HERZ, R. Estudos de microclimas em ambientes de manguezais na região do complexo estuarino de Cananéia. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA, 54., *Síntese dos Conhecimentos*, Cananéia, 1987. *Anais...* São Paulo: ACIESP, 1987. p. 127-131.

SOUZA, M. J. N. et al. *Contexto geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Acaraú, Curu e Baixo Jaguaribe*. Fortaleza: Embrapa, 2005. 52 p. (Documentos, 101).

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*, São Paulo, v. 23, n. 4, out./dez. 2005.

SOUZA, G. F. et al. Análise comparativa entre a classificação orientada a objeto e a fotointerpretação de lagoas no pantanal da Nhecolândia.

In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. *Anais...* Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p. 296-303.

SOUZA, W. F. L.; KNOPPERS, B. A. Fluxos de água e sedimentos na costa leste do Brasil: relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. *Geochim. Bras.*, v. 17, n. 1, p. 57-74, 2003.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Decreto nº 90.379 de 1984, que criou a Área de Proteção Ambiental (APA) de Jericoarara*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D90379.htm>. Acesso em: 16 nov. 2012a.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Área de Proteção Ambiental (APA) do Estuário do rio Mundaú. *Decreto nº 24.414*, de 29 de março de 1999b. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/2010/12/area-de-protecao-ambiental-do-estuario-do-rio-mundau/>>. Acesso em: 14 nov. 2012b.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Área de Proteção Ambiental do estuário do Rio Ceará. *Decreto nº 25.413*, de 29 de março de 1999c. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/2010/12/area-de-protecao-ambiental-do-estuario-do-rio-ceara/>>. Acesso em: 14 nov. 2012c.

TANAKA, S.; SUGIMURA, T. A new frontier of remote sensing from IKONOS images. *International Journal of Remote Sensing*, v. 22, n. 1, p. 1-5, 2001.

TEIXEIRA, L. A. A. GIS Fundamentos. Notas de Aula. In: GIS NORDESTE, 1997, Recife. *Anais...* Curitiba: Sagres, 1997.

THIERS, P. R. L. *Análise dinâmica espacial da vegetação de mangue com abordagem metodológica orientada a objeto*. 2013. 180 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/9022/1/2013_tese_prthiers.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2014.

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PELOTAS. *Segmentação*. Disponível em: <<http://ppginf.ucpel.tche.br/TI-arquivos/2008/PPGINF-UCPel-TI-2008-1-01.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE DO RIO DE JANEIRO. *Características de imagens*. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/sr43.htm>>. Acesso em: 13 jul. 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. *Lógica Fuzzy*. Disponível em: <<http://s2i.das.ufsc.br/apresentacao/logica-fuzzy.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2012.

VALDÉS, R. E. B.; RONDÓN, O. G. In: ESTUDIO CIENTÍFICO E IMPACTO HUMANO EN EL ECOSISTEMA DE MANGLARES. Memorias del Seminario organizado por Unesco, con el auspicio del Gobierno de Colombia. Oficina Regional de Ciência y Tecnología para América Latina y el Caribe. Montevideo, 1980.

OS AUTORES

Paulo Roberto Lopes Thiers

Engenheiro Cartógrafo, com doutorado em Geografia pela Universidade Federal do Ceará. Professor da Universidade Federal do Ceará das disciplinas Sensoriamento Remoto, Tecnologias da Geoinformação e Cartografia Digital, na graduação do curso de Geografia. Também ministra a disciplina de Cartografia Aplicada a SIG no curso de Especialização em Geoprocessamento Aplicado à Análise Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade Estadual do Ceará. Atua na área de Geociências, com ênfase em geodésia espacial (GNSS), cartografia digital, sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica e aerofotogrametria com drones.

Antonio Jeovah Andrade Meireles

Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC) e dos Programas de Pós-graduação em Geografia e em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA). Doutor em Geografia pela Universidade de Barcelona (2001). Desenvolve pesquisas em Geociências, com ênfase em Geografia Física e Geomorfologia, atuando em temas relacionados a indicadores geoambientais de flutuações do nível relativo do mar e mudanças climáticas, evolução geomorfológica da planície costeira, planejamento e gestão, impactos socioambientais de grandes empreendimentos no litoral, cartografia social, justiça ambiental e climática. Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1D.

Jader de Oliveira Santos

Professor do Departamento e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor colaborador do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Ambiente da Universidade de Cabo Verde – UNICV. Doutor em Geografia (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo (USP). Bolsista do Programa Pró-Mobilidade Internacional CAPES/AULP, com estágio desenvolvido na Universidade de Cabo Verde – UNICV. Experiência na área de planejamento ambiental e ordenamento territorial com o uso de tecnologias da geoinformação, atuando em análise ambiental integrada, fragilidade ambiental urbana, riscos socioambientais e educação ambiental.



Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará – UFC
Av. da Universidade, 2932 – fundos – Benfica
Fone: (85) 3366.7485 / 7486
CEP: 60020-181 – Fortaleza – Ceará
imprensa.ufc@pradm.ufc.br

A Universidade Federal do Ceará vem contribuindo de modo decisivo para a educação e para a ciência em nosso país. Como um dos seus avanços acadêmicos, merece destaque o crescimento da pós-graduação, que desempenha papel fundamental na formação de recursos humanos.

A pós-graduação brasileira tem sido avaliada de forma sistemática nas últimas décadas. Nesse processo, o livro passou a ser incluído como parte importante da produção intelectual acadêmica, principalmente na área das Ciências Sociais e Humanas, divulgando os esforços dos pesquisadores que veiculam parte de sua produção nesse formato.

A Coleção de Estudos da Pós-Graduação foi criada visando apoiar os programas de pós-graduação *stricto sensu* da UFC a partir de uma política acadêmico-científica, viabilizando a publicação da produção intelectual em forma de livro.

Em 2014, segundo ano de sua criação, a Coleção de Estudos da Pós-graduação apoiou a edição de 13 livros, envolvendo diversos cursos de mestrado e doutorado de diferentes áreas do conhecimento.

