



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

PAULO ROBERTO LOPES THIERS

**ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL COM
ABORDAGEM METODOLÓGICA ORIENTADA A OBJETO**

**FORTALEZA
2013**

PAULO ROBERTO LOPES THIERS

**ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL COM
ABORDAGEM METODOLÓGICA ORIENTADA A OBJETO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Geografia do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Ambiental e Territorial.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Jeovah de Andrade
Meiros

**FORTALEZA
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- T368a Thiers, Paulo Roberto Lopes.
Análise da dinâmica espacial da vegetação de mangue com abordagem metodológica orientada a objetos / Paulo Roberto Lopes Thiers. – 2013.
179f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2013.
Área de Concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental.
Orientação: Prof. Dr. Antonio Jeovah Andrade Meireles.
1. Dinâmica espacial - análise. 2. Manguezais. 3. Sensoriamento remoto. I. Título.

CDD 910

PAULO ROBERTO LOPES THIERS

**ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL COM
ABORDAGEM METODOLÓGICA ORIENTADA A OBJETO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Geografia do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Ambiental e Territorial do Nordeste Semi-Árido.

Aprovada em ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Jeovah Andrade Meireles (Orientador)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof^o. Dra. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dra Maria Lúcia Brito da Cruz
Universidade Estadual do Ceará

Prof^o. Dr. Rodrigo Guimarães de Carvalho
Universidade Estadual do Rio Grande do Norte

Prof. Dra. Marta Celina Linhares Sales
Universidade Federal do Ceará-UFC

DEDICATÓRIA

Aos meus tios Analice, Alberto Thiers (*Berito*), Jarina, Terezinha, José Leitão e Alba;

Ao meu “irmão” Beto (bolachão), sempre carinhoso;

À Mara (esposa) e Rafael (filho) pela paciência e carinho.

A meu amigo “Hélio Passarim”, aos meus tios Antonio, “Seu menino”, *Dada* e a “Zezinho de Lero” (todos, *in memoriam*), dedico

“A imaginação tem maior importância que o conhecimento.” (Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Deus orienta a vida, e agradeço a *Ele*.

Ao professor Jeovah Meireles, orientador e amigo que, sempre atento, deu as maiores e importantes informações.

A Edson Vicente da Silva, prof^o Cacau, pela grande força e delicadeza em sempre se colocar à disposição para ajudar no desenvolvimento da Tese. Valeu Cacau!

À prof^a Marta Celina pela revisão do texto e porque, sempre que solicitada, estava à disposição. Obrigado pelas observações, críticas sinceras e valorosa contribuição.

Ao prof^o Levi Sampaio, sempre sorridente e delicado. Valeu a demonstração de preocupação com o andamento dos trabalhos e, principalmente, pela gentileza “ofertada”.

Ao prof^o e amigo Eustógio Dantas que sempre demonstrou carinho, atenção e sinceridade nas suas colocações. A ti, amigo, desejo saúde e muita paz espiritual.

A Evaldo Maia, secretário do departamento de Geografia, pela delicadeza. Obrigado por sua competência e responsabilidade na condução de tarefas. E, sempre brincando, diria: Jesus te ama Evaldo!

A Da. Mazé, minha sogra, obrigado, sempre.

À minha mãe, guerreira de plantão!

Ao amigo *novo* Anderson, que deu a força *orientada a objeto*.

RESUMO

Para o conhecimento da dinâmica espacial das áreas de manguezais dos em dez complexos estuarinos da costa oeste cearense foram utilizadas imagens orbitais com resolução espacial de 30m e imagens coloridas com resolução de 2m, com aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e tecnologia de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Às imagens do sensor TM do satélite LANDSAT 5, observadas por período de 23 anos, e às ortofotos que recobrem a área objeto, foram aplicados procedimentos de classificação orientada a objetos, técnica que traduz o *Estado da Arte* para a extração de informações espaciais. A abordagem orientada a objeto delimita corpos singulares e homogêneos a partir das informações espectrais dos *pixels*, e de características relacionadas à geometria e topologia dos objetos. Esse algoritmo foi desenvolvido para classificação em imagens com altíssima resolução espacial, onde não há mistura espectral: os *pixels* possuem características semelhantes a de seus vizinhos, enquanto que imagens de baixa e média resolução espacial, os *pixels* contêm informações espectrais correspondentes a vários objetos. Embora a base teórica/conceitual do método de classificação com orientação a objeto priorize aplicações sobre imagens de altíssima resolução espacial, a pesquisa teve por objetivo desenvolver estudos sobre imagens de média resolução espacial para a quantificação de áreas ocupadas por vegetação de mangues dos estuários da Costa Oeste cearense, entre os anos de 1985 e 2008. Com resultados da classificação orientada a objeto, produzida em imagens de média resolução espacial, foram realizadas análises da dinâmica espacial da área ocupada pelo sistema manguezal ao longo do recorte temporal estabelecido. A análise da dinâmica espacial entre o 1º e 2º períodos registrou incremento correspondente à variação percentual de 3,43%, e para o intervalo entre o 2º e 3º períodos foi registrada a variação de 6,35%. Já a variação observada entre os valores de áreas de mangues entre o 1º e 3º períodos, que corresponde ao recorte temporal de 1985 a 2008, corresponde a aproximadamente 10%. Em complementação aos objetivos estabelecidos, os estudos foram concentrados na aquisição de valores relativos à quantificação, com acurácia, da vegetação do ecossistema manguezal, mas obtidos sobre imagens ortorretificadas de alta resolução, para a comparação com dados publicados em trabalhos de outros autores, elaborados com técnicas e metodologias distintas das empregadas na pesquisa. Para a validação dos resultados da classificação foram utilizadas as mesmas ortofotos, obtidas no ano de 2007, como referência para a verificação da *Verdade Terrestre*, com vistas à garantia da qualidade geométrica e posicional das feições de bosques de mangues identificadas. Enfatize-se que os resultados apresentaram discrepâncias aceitáveis para os objetivos estabelecidos. Por fim, as discrepâncias observadas nos valores referentes aos complexos estuarinos pesquisados, comparados com outros trabalhos publicados estão associadas às diferentes metodologias e técnicas empregadas.

Palavras chave – Dinâmica espacial, ecossistema manguezal, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

To the knowledge of the spatial dynamics of mangrove areas of estuarine complex on the west coast of Ceará were used satellite images with spatial resolution of 30m and images colored with a resolution of 2m, with application of remote sensing technology and geographic information systems (GIS). The sensor images of LANDSAT TM 5, observed for a period of 23 years, and orthophotos that cover the area object, classification procedures were applied object-oriented technique that reflects the state of the art for extracting spatial information. The object-oriented approach delimits natural and homogeneous bodies from the spectral information of pixels, and features related to geometry and topology of objects. This algorithm was developed for classification of images with high spatial resolution, where no spectral mixing: the pixels have similar characteristics to their neighbors, while images of low and medium spatial resolution, pixels contain spectral information corresponding to multiple objects. Although the theoretical / conceptual classification method with object orientation prioritize applications on images of high spatial resolution, the research aimed to develop studies on images of medium spatial resolution for quantification of areas occupied by vegetation mangrove estuaries Coast West Ceara, between the years 1985 and 2008. With results of object-oriented classification, produced in medium spatial resolution images were analyzed with the spatial dynamics of the area occupied by the system mangrove along the established time frame. The analysis of the spatial dynamics between the 1st and 2nd periods recorded an increase corresponding to the percentage change of 3.43%, and the interval between the 2nd and 3rd periods was recorded variation of 6.35%. However, the variation observed between the values of mangrove areas between the 1st and 3rd periods, corresponding to the time frame from 1985 to 2008, the rate recorded is around 10%. Complementing the established objectives, studies were concentrated on the acquisition of relative values to quantify with accuracy, the vegetation of the mangrove ecosystem, but obtained on high-resolution orthorectified images, for comparison with data published in works of other authors, drawn up techniques and different methodologies employed in the research. For validating the classification results were the same used orthophotos, obtained in 2007, as a reference for verifying the Truth Road, with a view to ensuring the quality of geometric and positional features of mangrove forests identified. Emphasize that the results showed discrepancies acceptable to the established objectives. Finally, the discrepancies observed in the values for the complex estuarine surveyed, compared with other published works are associated with different methodologies and techniques employed.

Keywords - Space Dynamics, mangrove ecosystem, remote sensing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudos	20
Figura 2 - Composição colorida em RGB (Rb7/b3Gb5/b3Bb4/b3)	81
Figura 3 – Segmentação Multirresolução no eCognition Trial 8.0	82
Figura 4 - Rede Semântica para segmentação de bosques de mangues e entorno	83
Figura 5 – Classificação orientada a objeto no eCognition Trial 8.0.....	84
Figura 6 - Municípios do Litoral Oeste do Estado do Ceará	86
Figura 7 - gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Timonha.	90
Figura 8 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Timonha (1988).....	91
Figura 9 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Timonha (2000).....	92
Figura 10 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Timonha (2007).....	93
Figura 11 - gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio dos Remédios.....	95
Figura 12 - Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (1988)....	96
Figura 13 - Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (1999).....	97
Figura 14 - Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (2007).....	98
Figura 15 -- gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Coreaú. ..	100
Figura 16 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreaú (1985)	102
Figura 17 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreaú (1996)	103
Figura 18 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreaú (2008)	104
Figura 19 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Guriú.....	106
Figura 20 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Guriú (1988)	108
Figura 21 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Guriú (1998)	109
Figura 22 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Guriú (2007)	110
Figura 23 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Acaraú.	112
Figura 24 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (1985).....	114
Figura 25 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (1998).....	115
Figura 26 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (2007).....	116
Figura 27 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Aracatimirim.	118
Figura 28 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatimirim (1985).....	119
Figura 29 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatimirim (1999).....	120
Figura 30 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatimirim (2007).....	121
Figura 31 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Aracatiaçu.	123
Figura 32 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiaçu (1991)	124
Figura 33 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiaçu (1996)	125
Figura 34 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiaçu (2007)	126
Figura 35 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Mundaú. .	128

Figura 36 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Mundaú (1991).....	130
Figura 37 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Mundaú (1996).....	131
Figura 38 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Mundaú (2007).....	132
Figura 39 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Curu.....	134
Figura 40 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Curu (1991).....	135
Figura 41 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Curu (1996).....	136
Figura 42 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Curu (2007).....	137
Figura 43 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Ceará.....	139
Figura 44 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará (1988).....	141
Figura 45 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará (1998).....	142
Figura 46 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará (2007).....	143
Figura 47 – Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios.....	148
Figura 48 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Coreaú.....	149
Figura 49– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Guriú.....	150
Figura 50– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Acaraú.....	151
Figura 51– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Aracatimirim	152
Figura 52– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Aracatiaçu..	153
Figura 53– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Mundaú.....	154
Figura 54– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Curu.....	155
Figura 55– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Ceará.....	156
Figura 56 – Dinâmica quantitativa das áreas de mangue na costa oeste cearense.....	158
Figura 57 – Evolução dos bosques de mangue nos estuários da costa oeste cearense.....	159
Figura 58 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará Imagens de Radar (1976).....	162
Figura 59 – Representação espacial de bosques de mangue no rio Coreaú imagens de Radar (1976).....	163
Figura 60 - Representação espacial de bosques de mangue no rio dos Remédios imagens de Radar (1976).....	164
Figura 61 – Quantificação das áreas de mangue obtidas com o sensor TM em relação a MONTEIRO <i>et al.</i> (2005).	168
Figura 62 – Quantificação das áreas de mangue por Monteiro et al. (2005), ETM+ e Ortofotocartas.	171

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Serviços e funções do ecossistema manguezal e associações com os complexos estuarinos.....	32
Quadro 2 - Principais aplicações nas faixas dos canais do sensor TM.....	52
Quadro 3 - Comparação das formas de extração de informações em imagens	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área de bosques de mangues em MIRANDA <i>et al.</i> (1988)	38
Tabela 2 - Valores observados para bosques de mangues por HERZ (1991) .	42
Tabela 3 – Evolução de áreas de manguezais.....	44
Tabela 4 - Quantificação das classes de bosques de mangues nos rios Timonha e Ubatuba.....	88
Tabela 5 - Quantificação das classes de bosques de mangues no rio dos Remédios	94
Tabela 6 - Quantificação das classes de bosques de mangues no rio Coreaú.	99
Tabela 7 - Quantificação das classes de bosques de mangues no rio Guriú.	105
Tabela 8 - Quantificação das classes de bosques de mangues no rio Acaraú.	112
Tabela 9 - Quantificação das classes de bosques de mangues no rio Aracatimirim.	117
Tabela 10 - Quantificação das classes de bosques de mangues no rio Aracatiaçu.	122
Tabela 11 - Quantificação das classes de bosques de mangues no rio Mundaú.	127
Tabela 12 - Quantificação das classes de bosques de mangues no rio Curu	133
Tabela 13 - Quantificação da classe de bosques de mangues no rio Ceará .	139
Tabela 14 - Valores obtidos na pesquisa por classificação orientada a objeto (THIERS, 2012).....	147
Tabela 15 - Valores obtidos para bosques de mangues em trabalhos correlatos	160

Tabela 16 - Comparação de quantificação de manguezais em HERZ (1991) com resultados adquiridos por classificação orientada a objeto nesta pesquisa.....	165
Tabela 17 - Comparação de quantificação de manguezais em MONTEIRO <i>et al.</i> (2005) com resultados adquiridos por classificação orientada a objeto nesta pesquisa.	167
Tabela 18 - Comparação de quantificação de manguezais em HERZ (1991) com resultados adquiridos por classificação orientada a objeto nessa pesquisa.....	170

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- Biv – banda do infravermelho próximo
- Bv – Banda vermelho, faixa do visível
- CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
- DN – Digital Number
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuárias
- ENVI – Ambiente para Visualização de Imagens
- ETM+ – Enhancement Thematic Mapper Plus
- GALILEO –
- GCP – Ground Control Point
- GEMS 1000 (sigla em inglês para Sistema Mapeamento Goodyear 1000)
- GNSS – Global Navigation Satellite System
- GPS – Global Positioning Systems
- ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
- INR – Infra Vermelho próximo
- JPL – Jet Propulsion Laboratory
- LANDSAT – Satélite de Observação da Terra
- LDCM – Missão de Continuidade de Dados LANDSAT
- MAXVER – Máxima Verossimilhança
- MDE – Modelo Digital de Elevação
- MDT – Modelo Digital do Terreno
- MNT – Modelo Numérico do Terreno
- NASA – Administração Aeronáutica e Espacial Nacional
- NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
- OLI – Imageador Operacional da Terra
- PIXEL – *picture element*
- RADAM – Radar na Amazônia
- RGB – Red/Green/Blue
- RMSE – Erro Médio Quadrático
- SAD69 – Datum Sul Americano 69
- SEMACE – Superintendência Estadual do Meio Ambiente

SGBD – Sistema Gerenciador de Banco de Dados

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SLAR – Radar Aerotransportado de Visada Lateral

SLC – Correção da Varredura da Linha

SQL – Linguagem de Consulta Padrão

TM – *Thematic Mapper*

UFC – Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE QUADROS	XII
LISTA DE TABELAS	XII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XIV
SUMÁRIO	XVI
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1 Os manguezais e suas principais características	25
2.2 Legislação para Proteção ao Ecossistema Manguezal	29
2.3 Funções e Serviços Socioambientais dos Manguezais	31
2.4 Análise de trabalhos correlatos	37
2.4.1 Quantificação das áreas de manguezais no estado do Ceará (Brasil) através de sensoriamento remoto	37
2.4.2 Manguezais do Brasil	39
2.4.3 Evolução das áreas de manguezal do litoral Nordeste brasileiro entre 1978 e 2004	42
3 REFERENCIAL TEÓRICO E MODELO METODOLÓGICO	46
3.1 Sensoriamento remoto	46
3.1.1 Caracterização e processamento de produtos de sensores remotos	48
3.1.2 Processos de segmentação	62
3.1.3 Conceitos da lógica fuzzy	63

3.1.4	O Estado da Arte: abordagem metodológica orientada a objeto	65
3.2	Sistema de Informação Geográfica (SIG)	68
3.2.1	Caracterização de dados espaciais	68
3.2.2	Sistema gerenciador e modelo de dados	71
3.2.3	Análises espaciais utilizando base de dados de SIG	77
3.3	Métodos e materiais utilizados	79
3.3.1	Processamento de imagens e avaliação de condicionantes	79
3.3.2	Segmentação multirresolução	81
3.3.3	Classificação orientada a objetos dos estuários da costa oeste Cearense	83
4	QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DINÂMICA DE MANGUEZAIS NA COSTA OESTE CEARENSE	86
4.1	Classificações e análises para as Áreas de Manguezal na Costa Oeste Cearense	87
4.1.1	Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Timonha/Ubatuba	88
4.1.2	Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio dos Remédios	94
4.1.3	Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Coreau	99
4.1.4	Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Guriú	105
4.1.5	Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Acaraú	111
4.1.6	Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Aracatimirim	117
4.1.7	Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Aracatiaçu	122
4.1.8	Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Mundaú	127

4.1.9	Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Curu	133
4.1.10	Quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais no estuário do rio Ceará	138
5	ANÁLISES DE RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO E DISCUSSÕES COM TRABALHOS CORRELATOS	144
5.1	Validação da qualidade geométrica da classificação quantitativa	145
5.2	Dinâmica evolutiva dos bosques de mangue da costa oeste cearense	157
5.3	Análise e comparação com trabalhos correlatos	160
5.3.1	Validação da quantificação de mangues em imagens de radar realizada por HERZ (1991)	161
5.3.2	Validação da quantificação de mangues em imagens LANDSAT 7 ETM+ realizada por MONTEIRO te at. (2005)	166
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	169
	REFERÊNCIAS	174

1 INTRODUÇÃO

Os polos turísticos e econômicos nas faixas de praias da costa oeste cearense (Figura 1) aceleram os processos de especulação imobiliária e, conseqüentemente, causam degradação ao meio ambiente. Núcleos urbanos como Chaval, Barroquinha, Camocim, Trairí, Paracuru, Jijoca de Jericoacoara, Paracuru e Caucaia, apresentam potenciais de ampliação de suas áreas urbanas e expansão de atividades de turismo, da pesca, exploração de sal, petróleo e a carcinicultura, exigindo infraestruturas de suporte que impõem fortes impactos ambientais.

Face à necessidade de crescimento e desenvolvimento socioeconômico da região, é urgente que se imponham ações que partam, sobretudo, de autoridades governamentais em todos os níveis, mas que a sociedade civil participe plenamente para estabelecer procedimentos e regulações para o desenvolvimento sustentado de fato. Os estudos relacionados à quantificação do ecossistema manguezal poderão fundamentar necessidades vinculadas às ações de planejamento e gestão da zona costeira na definição de territórios de relações de usufruto tradicional. Entende-se que a biodiversidade que emana deste ecossistema é base para a segurança alimentar dos povos do mar e demais atividades socioeconômicas a esse ecossistema associadas, justificando a necessidade de sua preservação. O cumprimento da legislação ambiental e a consecução da funcionalidade sistêmica desse ambiente são essenciais à sua manutenção.

Nesse sentido, há a necessidade da correta quantificação das áreas de manguezal para a definição de planos de ações e estratégias a serem desenvolvidas. A necessidade do estabelecimento de metodologia de classificação quantitativa de áreas de manguezal com acurácia tem justificativas mediante imprecisões e susceptibilidades a erros que os métodos e técnicas utilizados incorrem, por limitações inerentes aos classificadores tradicionais.

A incorporação do referencial de classificação orientada a objeto à análise das áreas de manguezais se configura como forma inovadora na análise eficiente de quantificação da dinâmica evolutiva espacial desse ecossistema. Essa abordagem procura construir objetos sobre imagens orbitais, e se utiliza da informação espectral dos pixels e outras características, tais como valores radiométricos derivados dos pixels que constituem o objeto, grandezas relacionadas à geometria do objeto e informações relacionadas à vizinhança (contexto) do objeto (PILZ; STROBL, 2007).

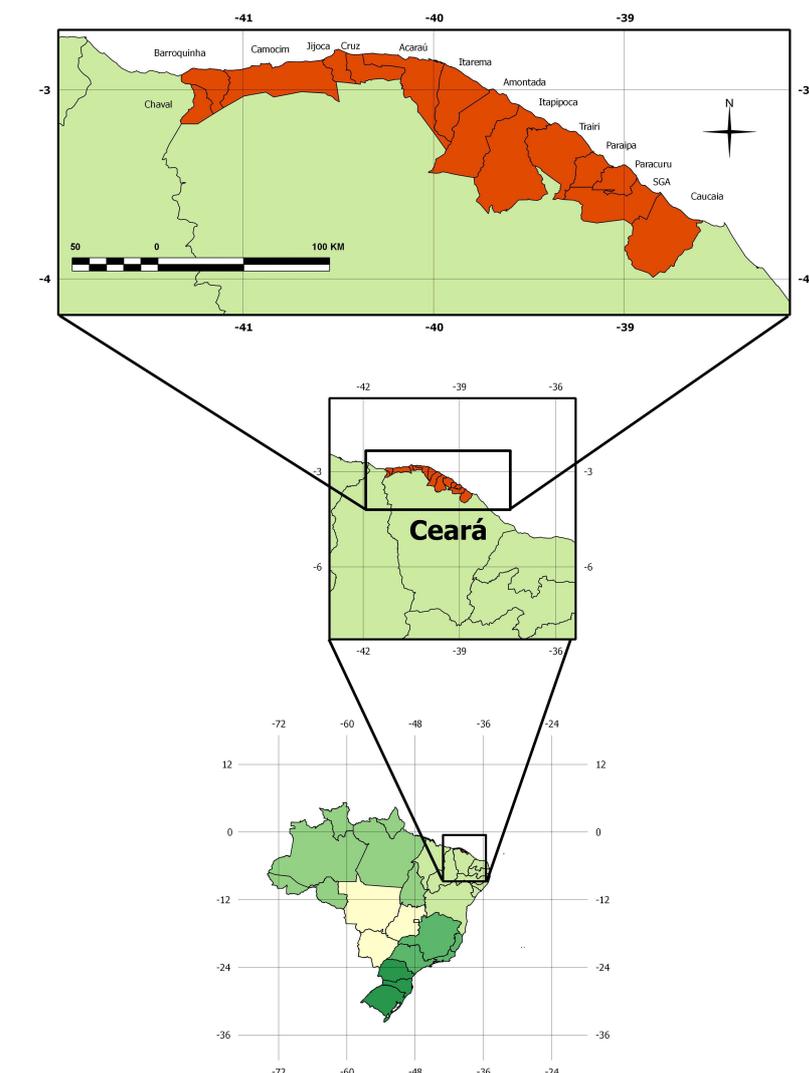


Figura 1 – Localização da área de estudos

Entende Encarnação *et al* (2007), que a classificação orientada a objeto é produto da delimitação de fronteiras não apenas de *corpos* singulares e homogêneos, mas sim como produto resultante do entendimento de novas concepções de espaço com diferentes propriedades. Para Antunes e Luz (2009), a abordagem de classificação orientada a objeto é um novo paradigma no processamento de imagens de altíssima resolução espacial.

Blaschke & Strobl (2001) explicam que a melhoria da resolução espacial e espectral das imagens orbitais, advindas do avanço tecnológico dos sensores, evidenciaram dificuldades de aplicação de classificadores tradicionais. Para imagens de alta resolução, o pixel possui características espectrais semelhantes às de seus vizinhos sendo, portanto, mais puras em termos de mistura espectral, o que favorece a aplicação desse método. Por outro lado, a alta resolução espacial contribui para

aumentar a variação espectral, permitindo descrição mais detalhada dos objetos e classes de interesse.

A base teórica do método de classificação com orientação a objeto foi desenvolvida para aplicações sobre imagens de altíssima resolução espacial, e a investigação aqui apresentada tem por objetivo fazer análises quantitativas acuradas sobre a dinâmica espacial em áreas de manguezais do litoral oeste cearense mas, enfatize-se, com a utilização e o processamento de imagens orbitais coletadas pelo sensor TM (sigla em inglês para Mapeador Temático) a bordo do satélite LANDSAT 5, com média resolução espacial (30m). Há de se informar, de que os resultados obtidos na investigação apresentaram acurácia com nível de confiabilidade oscilando em torno de 90%, confirmados pela validação da qualidade geométrica, utilizando como referência para a verdade terrestre, imagens com resolução espacial de 2m.

O método de classificação orientada a objeto indica avanço e inovação metodológica na área do conhecimento, constituindo-se em real contribuição à temática em questão. A idéia central do método está no processamento das unidades/objetos produzidos na segmentação e relacionados a classes individuais conforme conjunto de regras definidas como funções *fuzzy*.

A segmentação multirresolução particiona a imagem em segmentos/corpos singulares com diferentes escalas de percepção (tamanho), considerando, também, características de heterogeneidade espacial (forma); espectral, e diferenças entre os segmentos/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.

Em síntese, os objetos criados na imagem devem se ajustar aos objetos do mundo real em nível de geometria e semântica: limites/forma e conteúdo/significado, respectivamente. E que a diferenciação entre objetos, espacialmente relacionados, se tornará patente com a introdução de atributos que os aproximem ao objecto real, formando redes de objetos com tipologia de classes hierarquizadas a várias escalas, numa abordagem sistêmica e representativa do espaço objeto de estudo (ENCARNAÇÃO *et al*, 2007).

O ano de 1978 pode ser considerado o marco da produção de informações sobre a quantificação de áreas de manguezais no litoral do Ceará com o Projeto RADAMBRASIL e difundidas por trabalho de HERZ (1991), que utilizou as imagens adquiridas por radar de visada lateral, método considerado revolucionário,

à época. Entretanto, em face da importância de trabalhos correlatos de reconhecidos valores científicos (MIRANDA; MARTINS; SOARES, 1988; MONTEIRO *et al.* (2005) na quantificação de áreas de bosques de mangues, o período da pesquisa terá alargamento para a efetiva cobertura temporal de observação de dados referentes à temática. Observa-se, entretanto, que os resultados apresentados são formados por valores muito díspares entre si, o que despertou o interesse para a formulação da pesquisa com vistas à compreensão desses valores e, possivelmente, entender que causas são responsáveis pelas discrepâncias, vista que são consideradas relativamente grandes.

Entretanto, não há como tergiversar de que os resultados referentes aos trabalhos correlatos citados formam a estrutura da motivação para a pesquisa, principalmente porque há a assertiva em MONTEIRO *et al.* (2005) de que no período de 1978 a 2005, as áreas de manguezais cresceram em percentuais superiores a 38% (trinta e oito pontos percentuais), mesmo com acréscimos de construções de novos viveiros de camarão, empreendimentos turísticos, ocupação urbana e impactos de diversas ordens que contribuem para o comprometimento da qualidade ambiental de ambientes estuarinos. Referidos fatores aumentaram, significativamente, as pressões exercidas sobre esses sistemas que, em muitos casos, interferem na funcionalidade e serviços ambientais que esses ambientes desempenham.

Enfatize-se que o principal objetivo é a elaboração de bases de dados espaciais com a quantificação da vegetação de mangues sobre imagens orbitais de média e alta resoluções espaciais, com vista à análise da dinâmica espacial do ecossistema manguezal ao longo de 23 anos. Nesse sentido, formulam-se questões que a pesquisa busca responder: Qual a dinâmica evolutiva das áreas de manguezais da costa oeste cearense de 1985 a 2008? A aplicação do método de classificação quantitativa orientada a objeto utilizando imagens de média resolução permite compreender essa evolução? Existem vantagens desse método de classificação, para as áreas de manguezal, em relação às metodologias tradicionais de classificação? São perguntas que não têm respostas prontas, e suscitam questionamentos que conduzem à necessidade do desenvolvimento de estudos integrados e avaliativos para responder esse questionamento.

Objetiva-se, também, esclarecer que causas justificam as discrepâncias entre resultados de trabalhos correlatos investigados nessa pesquisa, e tentar responder a questionamentos, naturalmente formulados quanto a:

- i) Houve redução ou ampliação de áreas de manguezais no recorte temporal de 1985 a 2008, com a edificação de novas áreas de fazendas de camarão?
- ii) Os resultados da pesquisa, comparados aos trabalhos publicados, apresentam discrepâncias elevadas?
- iii) Diferentes métodos e técnicas tradicionais utilizados nos trabalhos citados justificam resultados tão díspares?

Devendo ser realizados, como objetivos complementares, para a produção das informações dos estuários investigados na pesquisa, a:

- i) Classificação para a produção de informações geográficas sobre imagens orbitais de média resolução espacial (30m), composição colorida RGB por razão entre bandas;
- ii) Quantificação em *software* de SIG, com acurácia, das áreas poligonais de bosques de mangues obtidos em imagens/ortofotos de alta resolução espacial e imagens orbitais de média resolução espacial da missão LANDSAT TM 5;
- ii) Análise dos resultados apresentados dos estudos correlatos procedidos e comparações com resultados obtidos pela classificação de imagens orbitais de média resolução geométrica, baseada em regras do especialista, e com resultados adquiridos a partir da classificação orientada a objetos.
- iii) Validação da qualidade dos resultados obtidos pela classificação das imagens utilizando como referência, para a verdade terrestre, as imagens de resolução de 2m.

Há a pretensão de investigar o objeto da pesquisa com imposição de rigor metodológico e maior profundidade teórica na extração de informações sobre imagens orbitais de média resolução para produzir resultados de qualidade superior aos produtos gerados através de métodos que se utilizam de classificadores tradicionais.

Entretanto, enfatize-se que cada método tem suas próprias características e peculiaridades. O processo de classificação em imagens, por exemplo, 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 foram desenvolvidos com base apenas nas características da informação espectral do pixel e que, por conta, 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 será efetuada em ambiente SIG, utilizando os segmentos (polígonos) gerados pela classificação orientada a objetos, com a certeza de realizar medições acuradas para o entendimento da dinâmica evolutiva dos ambientes estuarinos da costa oeste cearense.

O relatório de pesquisa está organizado em seis capítulos, onde o Capítulo 2 apresenta a revisão de literatura sobre as características dos manguezais, legislação para proteção e suas funções socioambientais, juntamente com a análise dos trabalhos correlatos publicados sobre a temática da quantificação espacial de áreas de mangues no litoral cearense. Para o Capítulo 3 está reservada a descrição do modelo metodológico e materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa, com conceitos teóricos que formarão os pilares da pesquisa, com abordagens relacionadas à técnica de processamento de imagens orbitais que expressa o Estado da Arte para obtenção de informações espaciais baseadas na classificação orientada a objetos, e a revisão na literatura de conceitos e fundamentos de Sistema de Informações Geográficas (SIG), com ênfase na análise espacial integrada a ferramentas de sensoriamento remoto.

A quantificação e análise da dinâmica espacial de manguezais nos estuários da Costa Oeste do Ceará será realizada no Capítulo 4, onde serão realizadas comparações com valores divulgados em trabalhos científicos que serviram de motivação à realização desta pesquisa. No capítulo 5 serão realizadas análises de resultados, discussões com trabalhos correlatos e validação da qualidade geométrica das bases de dados espaciais elaboradas na investigação, sendo que as considerações finais deverão ser apresentadas no Capítulo 6, que conterà as conclusões alcançadas e sugestões para pesquisas futuras com respeito à técnica utilizada, versus resultados obtidos. Este capítulo fará avaliação da técnica de classificação utilizada na investigação, devendo ressaltar a qualidade geométrica dos resultados alcançados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Os manguezais e suas principais características

Os nutrientes encontrados nos manguezais, advindos de grande quantidade de matérias orgânicas contribuem para a produtividade primária, alimentando grandes populações de crustáceos, peixes, moluscos e aves nativas e migratórias, e servindo de berçários naturais: ambientes para reprodução e criadouro. Apresenta-se como solo úmido, pobre em oxigênio, salgado, argiloso e com odor caracterizado pela decomposição de matérias orgânicas, pequena declividade e baixa variação de altitude relativamente ao nível médio dos mares.

Caracterizado como um dos ecossistemas de maior produtividade, a biodiversidade do mangue é favorecida por sua estrutura para alimentação, desova, reprodução, fuga de predadores e crescimento para diversas espécies (MARIANO, 2009).

Para Lacerda (2002), 85% das áreas de manguezais do litoral brasileiro estão concentradas na região norte do país, onde as florestas de mangues poderiam se estender por mais de 40km em estuários e por cursos de rios, onde árvores atingem diâmetros de 1m e 40m de altura. Afirma, ainda, Lacerda (2002), que na faixa litorânea entre o Ceará e Rio de Janeiro, os portes das árvores das florestas de mangues são mais baixos e, estruturalmente, menos complexos. Observa, 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 Cabo Orange, no Amapá, e termina em Laguna, Santa Catarina.

Segundo Silva e Herz (1987), em geral, os manguezais mantêm temperaturas diferenciadas em relação à mata costeira com relação à variação diurna da temperatura: temperaturas mais elevadas foram observadas nos espaços ocupados por mangues. Para Silva (1991), 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 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 arbóreas e arbustivas, e localiza-se nas porções de baixas e médias salinidades (LACERDA, 1984; BRAGA, 2001).

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, incluindo-se: MIRANDA; MARTINS; SOARES, (1988); HERZ (1991) e MONTEIRO *et al.* (2005). O manguezal é um ambiente que se desenvolve em áreas de desembocaduras de rios e às margens de reentrâncias costeiras. É ambiente que apresenta 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, utilizados para estabelecer o tempo de cobertura e qualidade da água, e fazer a troca regular de matéria orgânica. A vegetação de mangues necessita de água doce, apesar de se desenvolverem 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, e 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 merece atenção com respeito ao manejo da zona costeira (PELLEGRINI, 2000).

Segundo Nascimento (1993), o apicum é zona de transição e de solo, geralmente, arenoso. Alguns autores consideram o apicum como extensão do ecossistema manguezal (SCHAEFFER-NOVELLI; CITRÓN, 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, através 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 na produtividade primária e biodiversidade. Ainda afirma Meireles e Campos (2010) que conservar e recuperar suas funções e serviços, representa importante estratégia para 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 danos aos ambientes utilizados por aves migratórias, referidas 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, água canalizada, sistema viário e outros serviços (CAMARGOS, 2007).

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.”

Segundo Schaeffer-Novelli (1999), 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). Para Lacerda (2002), historicamente, os manguezais têm sido explorados como fonte de madeira e subsistência para as populações formadas nos aglomerados urbanos por toda faixa litorânea brasileira. Enfatiza Lacerda (2002) que, ao longo da faixa litorânea

brasileira, o litoral da região sudeste foi o que sofreu maiores impactos por conta de urbanização e da industrialização.

2.2 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 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 vegetação de manguezal, mas a Resolução CONAMA nº 303 (MMA, 2002) 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” (MMA, 2002).

A legislação brasileira (CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO, LEI nº 4771/65, Art. 4º, p. 1, grifo nosso) estabelece **possibilidades** que a supressão de vegetação em áreas de APP's “[...] 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 já que:

[...] a atividade de carcinicultura pode ocasionar impactos ambientais nos ecossistemas costeiros; por considerar a importância dos manguezais como 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, são 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)”. No 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.

2.3 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 espécie 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 espaçotemporal, 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, onde os indicadores estão associados à diversidade morfológica, aos ecossistemas, a uso tradicional, forma de extrativismo, vínculos locais e regionais (MEIRELES; CAMPOS, 2010):

Quadro 1. Serviços e funções do ecossistema 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 das 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.
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 mariscagem); disponibilidade de água para as atividades de produção de camarão em cativeiro e sal; interliga as comunidades litorâneas através dos canais estuarinos e gâmbos.

Continua...

SERVIÇOS	FUNÇÕES	COMPLEXOS ESTUARINOS
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 flúviomarinhos e praias. 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, 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, flúviomarinho 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 a elevada diversidade de avifauna; suporte ecossistêmico para as aves migratórias. Utilizado pelo peixe-boi marinho para alimentação, reprodução e refúgio.

Continua...

SERVIÇOS	FUNÇÕES	COMPLEXOS ESTUARINOS
Produção de alimento	Parte da produção primária bruta transformada em alimento (peixes, moluscos) com as atividades de pesca e agricultura de subsistência.	Conjunto de componentes ecológicos (bosque de mangue, apicum/planícies 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 baio 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 mariscagem. 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 produtos 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.

Continua...

SERVIÇOS	FUNÇÕES	COMPLEXOS ESTUARINOS
Cultura	Proporciona oportunidades para atividades não comerciais (estéticas, artísticas, educacionais, espirituais e 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 IPCC.	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: Adaptado de Meireles e 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 de que a cobertura vegetal dos manguezais tem atributo de estabilizar a linha de costa e, dessa forma, impedir a erosão.

Para Costa Neto (2000), 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, que a agressão aos recursos naturais está diretamente relacionada com os meios de produção e que a via para “[...] o desenvolvimento sustentável passa, necessariamente, pela consideração de que a natureza precisa de uma proteção efetiva, e o direito é instrumento cultural de tutela deste valor jurídico.”

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 num processo educativo de construção coletiva no qual os atores sociais e institucionais sejam os protagonistas do processo.

2.4 Análise de trabalhos correlatos

A análise 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), pretende analisar e interpretar as respectivas metodologias, técnicas, materiais empregados e resultados nos trabalhos. A revisão da literatura é feita com vistas ao embasamento para entendimento do tema pesquisado, com foco nas metodologias desenvolvidas pelos trabalhos que são utilizados como referência, e para auxílio na interpretação e comparação dos resultados alcançados com os resultados da presente pesquisa.

Cada um dos trabalhos analisados se utilizou de 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.

O trabalho para mapeamento de Manguezais do Brasil (HERZ, 1991) teve como suporte técnico, para produção da base de dados espaciais, imagens de radar aerotransportado de visada lateral que, à época, a sua utilização representava avanço tecnológico sem precedentes. O mapeamento das áreas de bosques de mangues do litoral do estado do Ceará, realizado na pesquisa em tela, foi efetuado com imagens de radar obtidas por sensor de visada lateral na banda X, para o projeto RADAMBRASIL (1978).

Monteiro *et al* (2005) utilizou imagens orbitais do sensor ETM+, transportado pelo Landsat 7 e Landsat TM 5 em composições coloridas RGB: 432, 543, 321 e 752, e imagens de alta resolução espacial dos satélites IKONOS e QUICKBIRD. Para o processamento digital das imagens foram aplicadas técnicas de filtragem, e a quantificação de áreas de mangues do litoral cearense foi efetuada através de classificação por análise e interpretação visual.

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

Para o levantamento e quantização de áreas de manguezais do litoral cearense, os autores 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 e SOARES, 1988, p.4)

As imagens das bandas 5, 4 e 3 foram utilizadas na composição colorida em R5G4B3 para a identificação de áreas de manguezais, passou por processamento digital para realce por contraste, com vistas à classificação automática por fatiamento. Após a obtenção da composição colorida e realçada, os autores geraram imagem fotográfica analógica para ser utilizada na análise visual para mapeamento da classe de vegetação de mangues. Esclarecem que foram realizadas “checagens”, em campo, nos manguezais que apresentaram dificuldades na interpretação.

A quantificação das áreas foi realizada analogicamente e os resultados estão distribuídos consoante Tabela 1.

Tabela 1 – Área de bosques de mangues em MIRANDA *et al.* (1988)

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 *et al.* (1998)

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 Pacotí, 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).

2.4.2 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. A interpretação visual de imagens é processo sistemático para identificar, interpretar e determinar os objetos significantes. Para auxiliar na identificação visual é criada a chave, que consiste da descrição das características de como os objetos aparecem na imagem e como são representados (FUPEF, 1998).

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.

As imagens de radar foram utilizadas para a geração de mosaicos semicontrolados na escala 1:250.000 e 1:100.000, que foram editados em papel comum e fotográfico, e articulados conforme o Mapa Índice de Referência (MIR) do IBGE, para disponibilização ao público (CPRM, 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 potencializam 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, vista 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 clara correspondem aos terraços marinhos Holocênicos, ocupados por manguezais. E 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, por conta da 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). Ainda afirma que trabalhos publicados por Herz *et al.* (1984); Herz e Jaskow (1985) e Herz (1987), confirmam que houve “[...] eficiência nos cálculos de áreas ocupadas pelos manguezais em escala 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), 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.

Pretende-se fazer a classificação orientada a objetos para validação dos resultados obtidos por Herz (1991), 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.

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 (2012)

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

Para o mapeamento temático dos manguezais no Estado do Ceará, os autores 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 1 m 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, ano, 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 (*sic*). 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 (61 Km²) e do rio Coreaú (35 Km²).

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 (IPCC, 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 (BEZERRA, 1996; CAVALCANTE, 2001; 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.*, ano, 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.

3 REFERENCIAL TEÓRICO E MODELO METODOLÓGICO

3.1 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 MDE's (sigla para Modelos Digitais de Elevação), e utilizados para ortorretificar 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 utilizam como fonte de energia a Radiação Eletromagnética (REM), e são capazes de coletar a energia emitida e/ou refletida por objetos ao longo de todo o espectro eletromagnético. A energia é transformada em imagem no formato digital.

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. As técnicas de classificação de imagens podem ser agrupadas em:

- a) **Classificação com base na experiência do especialista**, onde a identificação das classes de feições é realizada com regras do fotointérprete;
- b) **Classificação orientada a pixels**, com a utilização de classificadores tradicionais, e que revolucionou a produção de informações geográficas para imagens orbitais de média e baixa resolução; e
- c) **Classificação orientada a objetos**, que traduz o *Estado da Arte* na produção de informações geográficas, e que é a técnica utilizada para a geração das classes de bosques de mangues, objeto da pesquisa, com acurácia. A técnica orientada a objeto foi desenvolvida para classificação

de imagens de alta resolução, mas que apresenta resultados com qualidade acima das expectativas com imagens de média resolução.

3.1.1 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) 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 - IBGE, 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 (IBGE, 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, vista que interfere na determinação da área mínima da classe a ser mapeada:

- a) Imagem de baixa resolução espacial: 30 -> 1000 m;
- b) Imagem de média resolução espacial: 10 -> 30 m;
- c) Imagem de alta resolução espacial: 2.5 -> 5 m.
- d) Imagem de altíssima resolução espacial: 0.40 -> 1 m

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, 2001).

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 resolução temporal especifica a frequência de revisita de um sensor de satélite para um local específico:

- a) Alta resolução temporal: menos de 24 horas a 3 dias;
- b) Temporal médio: 4 a 16 dias;
- c) Baixa resolução temporal:> 16 dias.

A missão foi iniciada com o lançamento do ERTS-1, em 1972. O sistema foi o pioneiro entre os programas de sensoriamento remoto para aplicações de pesquisa dos recursos naturais terrestres e é, ainda, o “sistema orbital mais utilizado para mapeamento da dinâmica espaçotemporal do uso das terras e em outras aplicações decorrentes.” (EMBRAPA, 2012, p.5).

O sistema LANDSAT 5 é equipado com o sensor ótico TM (sigla em inglês para Mapeador Temático) e utilizado para observar a superfície da Terra em sete bandas espectrais que vão, desde o visível até as regiões térmicas e de infravermelhos. Tem resolução geométrica de 30m para as bandas de 1, 2, 3, 4, 5 e 7. A banda 6 (infravermelho termal) tem resolução espacial de 120m.

A resolução temporal do sistema LANDSAT é de 16 dias, e suporta aplicações em áreas relacionadas à agricultura, geologia, mapeamento para ordenamento territorial, gestão de alterações antropogênicas e naturais ocorridas na superfície terrestre, como o monitoramento de: cobertura vegetal, dinâmica da urbanização, catástrofes naturais, recursos hídricos, usos agrícolas e atualização de bases cartográficas (EMBRAPA, 2012). Quadro 2 demonstra as principais propriedades relativas aos canais do sensor TM, com as faixas espectrais de cada canal.

A missão do LANDSAT 4 teve problemas no sistema de fornecimento de energia e foi abortada, motivando à NASA a antecipação do lançamento do LANDSAT TM 5, que atingiu a órbita programada com êxito. Ressalte-se que o LANDSAT 5 carregando a bordo o sensor TM foi a missão que teve a vida útil mais longa de todas as missões desse sistema de observação da Terra. No ano de 1993, a NASA efetuou o lançamento da missão LANDSAT 6, que apresentou problemas no seu lançamento.

A última atualização do programa LANDSAT ocorreu em 1999 com o lançamento do LANDSAT 7, que apresentou inovações como a utilização do sensor ETM+ (sigla em inglês para Mapeador Temático Aprimorado), a ampliação da

resolução espacial da banda 6 para 60m e a inserção da banda pancromática de resolução espacial de 15m.

Quadro 2 - Principais aplicações nas faixas dos canais do sensor TM

Canal	Aplicações
1	Estudo de sedimentos em suspensão; Mapeamentos de águas costeiras; Máxima penetração na água; Diferenciação solo/vegetação (Azul: 0,45 – 0,52 μ m)
2	Mapeamento da vegetação (maior reflectância da clorofila na região do visível); Estradas e áreas urbanas (Verde: 0,52 – 0,60 μ m)
3	Padrões de uso do solo e absorção da clorofila (Vermelho: 0,63 – 0,69 μ m)
4	Delimitação dos corpos d'água e zonas úmidas; avaliação de biomassa e inundação da zona de planície de marés (Infravermelho próximo: 0,75 – 0,90 μ m)
5	Mapeamento de rios e corpos d'água; Conteúdo de água na vegetação; Uso do solo e estrutura urbana (Infravermelho próximo: 1,55 – 1,75 μ m)
6	Estresse térmico de litologia e construções Propriedades termais da água e solo (Infravermelho termal: 10,40 – 12,50 μ m)
7	Umidade do solo e vegetação; Formações superficiais e tipos de litologia; Estrutura viária e urbanização (Infravermelho médio: 2,08 – 2,35 μ m)

Fonte: Adaptado de Cunha-Lington (2001); IBGE (2001).

As atividades do satélite LANDSAT 7, com o sensor ETM+, foram encerradas em 2003 por conta de problemas técnicos no sistema eletromecânico chamado SLC (sigla em inglês Correção da Varredura da Linha), que é o sistema que compensa o deslocamento do satélite em relação ao movimento de rotação da Terra durante as aquisições das imagens. Essa anomalia reduz a quantidade de dados coletados por imagem. O futuro dos satélites LANDSAT é a LDCM (sigla em inglês para Missão de Continuidade de Dados LANDSAT), agendada para Janeiro de 2013. O Programa LANDSAT 8 prevê aquisição repetitiva de dados multiespectrais de alta resolução da superfície da Terra em uma base global (NASA,

2012). O LANDSAT 8 será equipado com o sensor OLI (sigla em inglês para Imageador Operacional da Terra) que, em relação ao ETM+, trará duas inovações: a banda azul na faixa de 433 a 453 nm para monitoramento costeiro e de aerossóis; a banda para detecção de nuvens Cirrus na faixa entre 1.360 e 1.390 nm. As nuvens Cirrus comprometem a qualidade das imagens, segundo Ferreira *et al.* (2008).

O satélite Worldview2 foi lançado pela empresa Digital Globe no dia 08 de outubro de 2009, e fornece dados de imagens com resolução de 50cm. Para modelagem 3D, o sistema fornece pares estereo. A resolução temporal é de 1,1 dias, fornecendo 8 bandas multiespectrais. Sendo quatro (4) compreendidas na faixa que vai do visível (RGB) ao infravermelho próximo 1, e as outras quatro (4) novas bandas são: litoral, amarelo, borda vermelha e infravermelha 2. A resolução radiométrica é de 11 bits.

O satélite GeoEye-1 é equipado com sensores capazes de adquirir imagem pancromática com resolução de 0,41 metros e foi lançado em 6 de setembro de 2008. Tem resolução temporal inferior a três dias. A resolução espectral é baixa, fornecendo cinco bandas. Sendo quatro (4) bandas compreendidas na faixa do espectro eletromagnético, que vai do visível (RGB) ao infravermelho próximo, e uma banda pancromática. A resolução radiométrica é de 11 bits.

A escolha de imagens digitais para a geração de base de dados espaciais é feita consoante a finalidade da aplicação, vista 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 desrretificados. 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 medidas, do objeto em relação à sua posição real na superfície terrestre.

Para utilização em várias aplicações, as imagens de sensoriamento 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 podem 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. Tratam-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, onde se assume que essas áreas possuem 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, atitude e velocidade; e d) efeitos panorâmicos relativos à geometria do imageamento (RICHARDS, 1995).

Ainda segundo Richards (1995), duas técnicas podem ser utilizadas para corrigir os vários tipos de distorções geométricas presentes em imagens digitais orbitais. Uma das técnicas modela a natureza e grandeza das fontes da distorção para estabelecer a forma de correção, desde que os tipos de distorções sejam bem conhecidas, tal como a que é causada pela rotação da Terra.

A outra técnica utilizada para efetuar correções da geometria da imagem, estabelece relacionamentos entre os endereços dos pixels na imagem e os

correspondentes posicionamentos terrestres daqueles pontos no terreno, independentemente do conhecimento da fonte e do tipo de distorção. Esta é a técnica mais comumente utilizada, e é independente da plataforma usada para aquisição da imagem.

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. Para a realização da correção de distorções geométricas utilizando polinômios de mapeamento, pressupõe-se que haja disponibilidade da base de dados espacial da área correspondente à imagem que será corrigida geometricamente.

Em princípio, define-se dois sistemas de coordenadas cartesianas: um sistema de coordenadas (x,y) descreverá os posicionamentos de pontos na base de dados espaciais, enquanto que o outro sistema de coordenadas (u,v) deverá descrever as posições relacionadas aos pixels da imagem. Os dois sistemas de coordenadas relacionam-se às funções de mapeamento *f* e *g*, de modo que:

$$u=f(x,y) \quad (1.a)$$

$$v=g(x,y) \quad (1.b)$$

Se definidas as funções *f* e *g*, a localização de um ponto da imagem é conhecida se a sua posição no mapa for conhecida, e vice-versa.

Para realizar a correção geométrica da imagem, inicialmente estabelece-se uma grade (quadriculado) de coordenadas UTM (por exemplo), sobre a base de dados espaciais (mapa). A conclusão do processo se dará com a movimentação do pixel (centro) para a base de dados espaciais e aplicação das funções de mapeamento: tem-se uma imagem geometricamente correta. As funções de mapeamento são, geralmente, polinômios simples de primeiro, segundo ou terceiro grau. Por exemplo, a equação para polinômio de segundo grau é:

$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \quad (2.a)$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 \quad (2.b)$$

Entretanto, vale observar que, às vezes, polinômios de ordens superiores podem introduzir erros de maior grandeza do que aqueles que devem ser corrigidos.

Adoção de polinômios de 1ª ordem visam corrigir distorções que envolvem rotação, translação e escala. Para tipos de correções mais complexas são utilizados polinômios de ordem superior.

Reportando-se às equações (2.a) e (2.b), se os coeficientes a_i e b_i são conhecidos, os polinômios de mapeamento poderão ser utilizados para relacionar qualquer ponto da base de dados espacial (mapa) para o ponto correspondente na imagem. Esses coeficientes são desconhecidos, mas seus valores são estimados pela identificação de GCP's (sigla em inglês para Pontos de Controle do Terreno) no mapa.

Para a realização da correção geométrica, pares de pontos são escolhidos de forma que os coeficientes dos polinômios de mapeamento possam ser estimados por substituição nas equações (2.a/2.b). Enfatize-se que a quantidade de pontos de controle do terreno (GCP's) dependerá da ordem do polinômio empregado para a correção geométrica. A quantidade de pontos de controle dependerá da ordem: para polinômio de 1ª ordem, são necessários três pontos; para aplicação de polinômios de mapeamento de 2ª ordem são necessários seis pontos; para polinômios de 3ª ordem devem ser utilizados dez pontos, no mínimo. Registre-se que qualquer ponto de controle que contenha erros posicionais, quer no mapa ou na imagem, terão influência sobre os coeficientes do polinômio (RICHARDS,1995; IBGE,2001).

A correção geométrica é obtida pela interpolação espacial das coordenadas dos GCP's da imagem/mapa de referência, identificadas pelas coordenadas (x,y) da projeção cartográfica adotada. Enquanto que na imagem a ser ajustada, as coordenadas (u,v) são identificadas pela posição do pixel em termos de linhas e colunas. As equações 2a e 2b contêm os coeficientes dos polinômios que determinam as relações entre os sistemas de coordenadas da imagem/mapa de referência e imagem de ajuste para a transformação de (x,y) para (u,v) (IBGE, 2001). Afirma, ainda, IBGE (2001) que a determinação da relação entre sistemas de coordenadas elimina os erros sistemáticos e produz o georreferenciamento da imagem.

O cálculo dos coeficientes do polinômio utilizados estabelece a comparação entre os valores das coordenadas da imagem de ajuste em função das coordenadas de referência: diferenças identificadas entre as coordenadas originais (u,v) e as coordenadas calculadas (u',v') são chamadas de resíduos. Os resíduos

vão surgir nas direções X e Y: $(u'-u)$ e $(v'-v)$, para informar ao pixel a posição calculada para o ajuste da imagem:

$$\text{Resíduo } (X, Y) = \sqrt{(u'-u)^2 + (v'-v)^2}$$

O resíduo é utilizado para analisar a acurácia/qualidade da transformação: valores altos indicam erro de leitura ou identificação do ponto de controle ou ponto-imagem. Não havendo enquadramento desses valores de resíduos na margem de erro aceitável para o processo, esses pontos deverão ser substituídos. O RMSE (sigla em inglês para erro médio quadrático), calculado com base nos resíduos nas direções X e Y, estabelece a qualidade da transformação espacial (IBGE,2001):

$$RMSE (X) = \sqrt{\sum(u'-u)^2/(n-k)}$$

$$RMSE (Y) = \sqrt{\sum(v'-v)^2/(n-k)}$$

Onde: n corresponde aos pontos de controle (GCP's) utilizados na transformação e k o número de termos da ordem do polinômio.

$$RMSE (X, Y) = \sqrt{(RMSE (X))^2 + (RMSE (Y))^2}$$

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 a intensidade dos mesmos seja recalculada.

Para a transferência dos valores de intensidade dos *pixels* da imagem original para a imagem corrigida, usam-se os métodos: i) Vizinho Mais próximo, que recalcula a intensidade do *pixel* original a partir do *pixel* vizinho mais próximo; ii) No método de Interpolação Bilinear, a intensidade do *pixel* original é recalculada com a média dos 4 *pixels* originais mais próximos à posição original; iii) O método correspondente à Convolução Cúbica, utiliza a média dos 16 *pixels* originais mais próximos à posição estimada.

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, onde 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 (IBGE, 2001).

Para destacar a importância com base na razão espectral, destaque-se o índice de vegetação NDVI (sigla em inglês para Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) que utiliza a banda do infravermelho próximo (Biv) e o canal vermelho (Bv) da faixa do visível, impostos na equação:

$$NDVI = (Biv - Bv) / (Biv + Bv)$$

Enfatize-se de que a clorofila, na faixa espectral do vermelho, apresenta intensa absorção, enquanto que na faixa compreendida pela banda do infravermelho próximo ocorre intensa reflectância (IBGE, 2001).

A divisão entre duas bandas espectrais distintas produz imagem que destaca variações nas curvas de reflectância que poderiam ser mascaradas por variações de brilho dos pixels, em cada uma das bandas abordadas individualmente. Observa-se que:

[.] .A vegetação saudável reflete-se fortemente na faixa do infravermelho-próximo (IV-P) do espectro; enquanto absorve fortemente na faixa do vermelho visível. Outros tipos de cobertura, como o solo e a água, têm reflectâncias quase parecidas nessas duas faixas. Assim, dividindo-se a banda 7 do LANDSAT MSS (IV-P = 0,8 a 1,1 um) pela banda 5 (vermelho = 0,6 a 0,7 um), resulta em valores muito maiores que 1,0 para a vegetação, e em torno de 1,0 para o solo e a água. Como resultado, a discriminação da vegetação dos outros tipos de cobertura, fica significativamente realçada (UFRRJ, 2012).

O Processamento digital de imagens, que teve início nos anos 60 no Jet Propulsion Laboratory – JPL da NASA, engloba um conjunto de técnicas e operações realizadas sobre imagens de sensores remotos com o objetivo de otimizar a extração de informações e, portanto, ajudar a interpretação da imagem que envolve a detecção e reconhecimento de elementos ou características da superfície terrestre registradas.

Para Richards (1995), a extração de informações em 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. Sendo que a outra forma de extração de informações sobre a imagem, envolve o analista humano/fotointérprete que extrai informações pela inspeção visual da imagem baseada 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 conta da exigência de padronização e uniformização de critérios.

Richards (2005) afirma que as duas formas de interpretação de imagens, embora tendo as suas próprias características e regras, são complementares. O Quadro 3 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 orientado 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, onde o especialista identifica 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. De outra forma, a 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 3 - Comparação das formas de extração de informações em imagens

Fotointerpretação (baseada em regras do especialista)	Análise Quantitativa (desenvolvidas 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 áreas 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 bits 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)

Dentro da classificação supervisionada, o método da Máxima Verossimilhança considera a ponderação das distâncias das médias e utiliza parâmetros estatísticos para efetuar a classificação, partindo do princípio que o usuário já conhece o bastante da imagem a ser classificada para poder definir as classes representativas. Ou seja, o processo automático de classificação supervisionada, utilizando classificadores tradicionais, conjuga os conhecimentos e regras do especialista na seleção das amostras.

De forma clara e sucinta, tenta-se, em prosseguimento, fazer descrição das principais técnicas de classificação de imagens, apresentando os princípios, concepções e características específicas pertinentes.

Embora os métodos de classificação de imagens orientada a *pixel* não sejam utilizados na produção das informações de interesse do projeto, a título de informação, enfatize-se que são métodos que se utilizam de algoritmos com características específicas para métodos não-supervisionados: Kmedia e Isodata, e métodos supervisionados: Máxima Verossimilhança (MAXVER), Distância Mínima, Paralelepípedo, Distância *Mahalanobis*, segundo Bernardi et al. (2007).

3.1.2 Processos de segmentação

A segmentação da imagem é ponto inicial para a classificação digital, que é a subdivisão de uma imagem em regiões homogêneas, atendendo a critérios estabelecidos pelo usuário. O resultado da segmentação depende do algoritmo utilizado e de ajustes dos respectivos parâmetros para subdividir a imagem em suas partes constituintes. Os algoritmos utilizados na segmentação de imagens adotam propriedades para particionar a imagem com base na descontinuidade: detecção de pontos isolados, detecção de linhas e detecção de bordas, e similaridade dos valores de cinza dos pixels: crescimento de regiões, limiares, junção e separação e agrupamento.

O processo de segmentação por similaridade ou segmentação orientada a regiões, considera as propriedades de semelhança em brilho, entre pixels contíguos localizados no interior dos objetos. A abordagem da segmentação por similaridade está relacionada aos métodos de crescimento de regiões. No método de segmentação por crescimento de regiões, o algoritmo agrega pixels em regiões, iniciando pela coleta de pixels considerados uniformes. O algoritmo procede com a agregação de pixels contíguos que possuam características similares de cor, intensidade e textura, de maneira que a região cresça em processo de iteração que termina se as fronteiras naturais dos objetos forem atingidas (GONZALEZ; WOODS, 2000).

A abordagem da segmentação por *descontinuidade* está relacionada a mudanças bruscas nos níveis de cinza dos *pixels* na imagem: o algoritmo percorre a imagem para a detecção de pontos isolados, linhas e bordas de objetos.

Os algoritmos Iseseg (não-supervisionado) e Bhattacharyya (supervisionado), são utilizados para definir as classes de feições da imagem pela segmentação por regiões, baseada em descontinuidade e/ou similaridade dos valores de cinza dos pixels.

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.

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 *et al*, 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 idéia 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 maiores de imagens 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 baseado em conhecimentos do especialista, no 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.

3.1.3 *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, onde 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 de 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 saídas 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 pertence (UFSC, 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”.

3.1.4 O Estado da Arte: abordagem metodológica orientada a objeto

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).

Observam Antunes e Cortese (2007) que, em decorrência, surge a possibilidade de segmentação para particionar a imagem em regiões para a identificação dos objetos, como se interpretados pelo cérebro humano. Enfatizam os autores que, como a segmentação cognitiva não pode ser reproduzida integralmente pelos algoritmos disponíveis, um modelo simplificado é aplicado através da técnica de segmentação por multirresolução.

Para a classificação orientada a objetos, modela-se o conhecimento do intérprete para classificar a imagem, levando-se em conta os atributos espectrais da imagem, além de critérios de homogeneidade, forma e contexto. Observa-se que os descritores ou conjunto de regras podem ser disponibilizados aos usuários na plataforma ou construídos pelo pesquisador, para utilização em novos contextos de classificação orientada a objetos.

A modelagem matemática Fuzzy (lógica “nebulosa”) opera sobre descritores espectrais que utilizam amostras (áreas de treinamento) selecionadas, indicando o grau de pertinência de um objeto na classe definida para o projeto. Segundo Antunes e Luz (2009), a utilização de propriedades espectrais e formas, a partir da segmentação, permitem melhor discriminação entre objetos.

Na abordagem orientada a objeto para a classificação de imagens orbitais, adicionalmente à informação espectral dos *pixels*, outras características podem ser utilizadas, tais como valores radiométricos derivados dos pixels que constituem o objeto, grandezas relacionadas à geometria do objeto ou informações relacionadas à vizinhança (contexto) do objeto (PILZ; STROBL, 2007). Para Encarnação et al (2007), a classificação é um produto da delimitação de fronteiras não apenas de corpos singulares e homogêneos, mas sim como o produto resultante do entendimento de novas concepções de espaço com diferentes propriedades e objetos. Em síntese, os objetos criados na imagem devem se ajustar aos objetos do mundo real em nível de geometria e semântica: limites/forma e conteúdo/significado, respectivamente.

Entende Encarnação et al (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.

Para a execução da classificação das imagens são utilizadas informações advindas da segmentação dos objetos de interesse, através de ferramenta com funcionalidade de extrair essas informações com bases em características espaciais, espectrais e de textura. A ferramenta utilizada permite extrair feições de interesse do projeto de pesquisa sobre as imagens de forma simples e rápida. O processo combina a segmentação por regiões de *pixels* que formam os objetos e de classificação dos objetos baseada em regras para extrair as classes de interesse, com flexibilidade que permite ao usuário retornar às etapas precedentes para reconfiguração dos parâmetros de processamento, se necessário.

O valor de Escala da segmentação multirresolução gera resultados que variam entre multisegmentos, para uma única feição, se o valor escalar é baixo. De outra forma, a escala de segmentação poderá gerar segmentos maiores se valores elevados de Scale, que variam de 1 a 250, forem utilizados.

A Segmentação faz a partição da imagem em agrupamento de pixels contíguos que contenham similaridade e que, por tendência, representam objetos reais. Os segmentos menores podem ser agregados para formar regiões maiores, pertencentes a uma mesma classe de feição. Quando a segmentação se depara com segmentos espúrios, como a presença de nuvens e respectivas sombras, podem-se agregá-los à classe a que realmente pertencem, através de ferramenta específica.

O método de Classificação Supervisionada seleciona segmentos como amostras de objetos representativas da classe de feição de interesse. Os melhores resultados da classificação supervisionada são obtidos quando uma maior quantidade de amostras for utilizada. De outra forma, o outro método que pode ser utilizado na classificação temática é baseado em conjunto de regras construído com base no conhecimento do especialista humano, que utiliza características com melhores condições de separabilidade de objetos com relação a objetos de interesse da pesquisa.

As regras podem ser construídas com mais de uma característica, e na classificação pode-se utilizar mais que uma regra, interagindo com o usuário. Portanto, determina-se o conjunto de valores com características que proporcionem melhor definição da classe de feições, com precaução na definição do intervalo de valores, para evitar a adição de objetos indesejáveis.

O método de classificação baseada em regras permite definir características por intermédio do estabelecimento de regras baseadas sobre os atributos do objeto de interesse. Trata-se de poderosa técnica para a extração de feições que fornece melhor desempenho comparado às técnicas tradicionais de classificação supervisionada, para diversos tipos de feições. Essa metodologia foi concebida com a finalidade de associar o conhecimento humano e o raciocínio lógico às características dos objetos (ENVI, 2012).

3.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

A tecnologia SIG suporta uma grande quantidade de definições, devido à sua ampla gama de aplicações, onde cada tipo de definição prioriza um aspecto distinto, refletindo a sua interdisciplinaridade (CÂMARA *et al.*, 1996). Segundo Aronoff (1992), um SIG pode ser definido como um sistema de informação baseado em computador o qual permite capturar, armazenar, manipular, analisar e exibir dados referenciados espacialmente e associados a atributos, para solução de problemas complexos. A tecnologia SIG permite a integração de dados oriundos de diversas fontes: mapas, tabelas de atributos, cadastros rurais, imagens de satélite e modelos digitais do terreno, e oferece a possibilidade de recuperação, manipulação e visualização destes dados, através de algoritmos de manipulação e análise.

O termo dados geográficos ou objetos georreferenciados é aplicado aos dados utilizados em SIG e descrevem objetos relacionados a fatos e fenômenos associados à sua localização sobre a superfície terrestre. Os dados geográficos podem possuir características não espaciais representadas por atributos descritivos, armazenados em banco de dados, e características temporais que indicam o tempo da coleta dos dados e sua validade (CÂMARA *et al.*, 1996).

3.2.1 Caracterização de dados espaciais

As aplicações de geotecnologias utilizam-se de dois tipos de dados geográficos:

a) Os geo-campos, usados para grandezas distribuídas espacialmente, tais como vegetação, uso do solo e topografia, representam os fenômenos

geográficos como superfícies espaciais contínuas e correspondem a dados temáticos, imagens e modelos numéricos do terreno;

b) Objetos geográficos correspondem a dados identificáveis e individualizáveis, com geometria e características próprias. As suas características são descritas por atributos não espaciais, armazenados em banco de dados convencional. O objeto geográfico pode estar associado a várias representações gráficas, mas não necessariamente a um fenômeno geográfico. Alguns exemplos são: escolas, municípios e fazendas (GOODCHILD, 1992; HARA, 1997; CÂMARA *et al.*, 1996).

Ainda para Câmara *et al.*, (1996), a dicotomia de modelagem de geocampos e objetos resvala para a questão raster versus vetor. Em um SIG, o geocampo enxerga o mundo real como uma superfície contínua, que pode ser representada na forma matricial (raster) ou na forma de arcos. A geometria de representação de objetos geográficos é descrita, no formato vetorial, através da utilização das entidades gráficas primitivas pontos, linhas e polígonos.

Um modelo de dados raster compreende uma grade regular de células quadradas ou retangulares, comumente denominadas de pixels, dispostas na forma matricial. Cada célula tem um e único valor para toda a região compreendida pelo geocampo, e a sua localização geográfica é conhecida através da sua posição na matriz.

Mapas temáticos são dados do tipo geocampo e são armazenados no SIG na forma de arcos que definem superfícies contínuas relativas a um tema, por exemplo: uso do solo, aptidão agrícola, clima. A topologia construída é do tipo arco-nó-polígono, em que os arcos se conectam entre si através de nós (ponto inicial e final) para formar um polígono (zona), segundo Burroughs (1987).

Conceitualmente, os mapas temáticos também podem ser armazenados no formato matricial (raster), onde células de tamanho fixo e mesmo valor, que definem superfícies contínuas para representação do tema. É um dado geográfico do tipo geocampo, utilizado para representar grandezas que variam continuamente no espaço. Vários termos são usados quando nos referimos a dados digitais de elevação: Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE) ou Modelo Numérico do Terreno (MNT).

O MDE, obtido através de imagens orbitais ou aéreas, através de correlação de imagens, corresponde à superfície de elevação que leva em conta tudo que houver sobre o terreno (p. ex. árvores, edifícios e superfície física).

O MDT é usado em aplicações de engenharia e planejamento: cálculo de volume de corte e aterro, construção de rodovias, instalações de antenas de transmissão de sinais de rádio e televisão. Genericamente, aplica-se à modelagem de qualquer fenômeno que tenha valores de distribuição contínua sobre uma área: geologia, dados aeromagnéticos, clima, geofísica, dados geoquímicos, por exemplos, em que a terceira dimensão corresponderá ao tema observado.

A captura e armazenamento de dados de elevação de pontos para a geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT), também denominados de Modelos Numéricos do Terreno (MNT), com vistas à representação espacial de superfícies topográficas, podem ser agrupados em quatro tipos (ARONOFF, 1995):

- a) Levantamento de pontos através de *Grade regular*, com espaçamento fixo no terreno, onde cada ponto tem sua posição geográfica tridimensional: longitude, latitude e altitude, conhecida;
- b) Coleta de dados de campo através de *Grade triangular* é um modelo de dados com topologia arco-nó, que representa os fenômenos como um conjunto de triângulos interconectados, onde as posições geográficas, para os nós que formam os triângulos, são determinadas por interpolação.
- c) Levantamento de coordenadas de pontos através de perfis do terreno observados ao longo de uma série de linhas paralelas sobre modelos estereofotogramétricos, ou sobre o terreno com tecnologia GNSS e Estação Total, onde os valores do seu posicionamento terrestre dos pontos notáveis são registrados ao longo desses perfis;
- d) Curvas de nível digitalizadas de um mapa topográfico ou produzidas por meio de restituição estereofotogramétrica digital, também podem ser utilizadas para a geração de Modelos Numéricos do Terreno.

Mapas cadastrais são caracterizados como objetos geográficos ou geo-objetos, pois apresentam objetos identificáveis do mundo real, com geometria e características próprias: p. ex., lotes urbanos que possuem atributos (proprietários, localização geográfica, IPTU e outros). Por suas características, os mapas cadastrais são armazenados no SIG em formato vetorial, através de representações gráficas (geometria) que utiliza pontos, linhas e polígonos.

De outra forma, dados relativos a redes são conceitualmente definidos como geo-objetos identificáveis, individualizáveis e com características próprias.

Armazenam informações na forma de arcos que podem estar associados a serviços de utilidade pública como rede de água, luz, telefone, à rede de drenagem, a malhas viárias e outras. Os arcos são armazenados no SIG através de topologia arco-nó: arcos têm um sentido de fluxo e os nós têm atributos que podem ser fontes ou sorvedouros (CÂMARA *et al.*, 1996).

3.2.2 Sistema gerenciador e modelo de dados

Um banco de dados é uma coleção de registros interligados, de diferentes tipos, para que possam facilmente ser recuperados. Para Aronoff (1995), o objetivo de colecionar e manter registros em um banco de dados está relacionado com a simples recuperação de fatos e situações, tal como recuperar um endereço associado a um nome de uma pessoa e com a possibilidade de processamentos que envolvam múltiplos relacionamentos entre os dados envolvidos.

Os primeiros bancos de dados foram desenvolvidos para armazenar a informação em arquivos digitais, colocados à disposição de programas aplicativos. Apresentavam desvantagens, uma vez que os programas acessariam diretamente cada arquivo no sistema de banco de dados obrigando, a cada um desses programas, entender a disposição de armazenamento em cada arquivo de dados. Objetivamente, cada programa deveria conter instruções de acesso ao sistema de banco de dados.

Se os arquivos de dados podem ser acessados e modificados por vários programas e usuários, algum tipo de controle, sobre o todo, deverá existir, indicando quais usuários terão acesso a quais arquivos de dados. Fica evidente que a falta de controle central poderá degradar, seriamente, a integridade do banco de dados. E esta é uma questão crítica, vista que informações de qualidade duvidosa podem ser piores que a falta de informações (ARONOFF, 1995).

O aparecimento dos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) resolveu a questão do compartilhamento do banco de dados. O SGBD é composto por um conjunto de programas que têm como objetivos: “a) armazenamento e manipulação de dados; b) controlar o compartilhamento dos dados por múltiplos usuários, de forma ordenada; e c) garantir a integridade do banco.

Um SGBD age como uma central de controle sobre todas as interações entre o banco de dados e os programas aplicativos, os quais, por sua vez, interagem

com o usuário, afirma Aronoff (1995). Os programas aplicativos não precisam conhecer a estrutura lógica de armazenamento dos dados, porque o acesso ao banco de dados é feito por meio do SGBD. O programa aplicativo emite o comando para o SGBD, que recupera e realiza operações sobre grandes quantidades de dados.

A organização conceitual de um banco de dados é denominada de modelo de dados. Os sistemas usados para organizar banco de dados podem ser classificados em três categorias: hierárquica, rede e relacional, com diferenças básicas entre eles correspondentes ao tipo de estruturas lógicas que podem ser suportadas. A abordagem dos três modelos de dados citados foge ao escopo deste trabalho, vista que será adotado para o desenvolvimento dos trabalhos o modelo de dados relacionais, que utiliza tabelas como estrutura lógica de dados (CHEN, 1990).

A organização de um arquivo de dados pode ser descrita em termos de registros, campos e chaves. Em um sistema de armazenamento de dados baseado em computador, um grupo de itens de dados relacionados é armazenado como um registro. Um registro pode ser compreendido como uma linha em uma tabela e representa a informação pertinente a um elemento ou entidade particular. Um registro está dividido em campos, os quais contêm os itens do dado. A recuperação de um registro em um banco de dados é efetuada por meio de uma chave, isto é, por códigos residentes em um ou mais registros.

No modelo relacional os dados são armazenados como uma coleção de valores na forma de simples registros em tabelas, que representam os fatos. O modelo relacional é simples e, do ponto de vista dos usuários, é uma extensão de modelo de arquivos. A diferença principal é que um banco de dados pode consistir de vários arquivos, e cada um pode conter atributos diferentes associados a um registro (CLARKE, 1999). No banco de dados relacional, os registros recebem um atributo identificador. Este atributo “chave” servirá de vínculo entre as tabelas e o sistema gerenciador de banco de dados relacional possui comandos que permitem explorar as chaves e vínculos entre as tabelas com diferentes estruturas (CLARKE, 1999).

No modelo relacional, as tabelas têm uma coluna comum que as relacionam uma à outra. Uma consulta pode ser realizada usando quaisquer dos campos de atributos da tabela. De outra forma, uma consulta por atributos armazenados e relacionados em tabelas distintas, pode ser realizada pela anexação de duas ou mais tabelas (*join*), usando qualquer atributo comum às tabelas

pesquisadas. O banco de dados relacional é uma coleção de tabelas que representam objetos, suas propriedades e o relacionamento entre esses objetos. O banco de dados relacional é o modelo de banco de dados mais popular no mercado hoje, principalmente porque é de fácil manuseio e entendimento. A organização do modelo relacional é simples de entender e, portanto, é um bom veículo para comunicar a ideia de banco de dados. Conclui-se, portanto, que o banco de dados, no modelo relacional, pode ser representado com um número menor de redundâncias (ARONOFF, 1995).

A maioria dos sistemas de SIG incorpora um SGBD (Gerenciador de Banco de Dados) relacional básico ou está aberto à conexão com sistemas de banco de dados comerciais. Os SGBD's possuem funções para recuperação e exibição de dados e seus atributos e incorpora um gerador de relatório padrão para a necessidade de cheque e verificação da estrutura e conteúdo do banco de dados (CLARKE, 1999).

No modelo relacional, o SGBD permite consulta de dados de qualquer registro isolado ou em conjunto, utilizando atributos como chave para recuperação de informações. O usuário não necessita conhecer a estrutura do banco de dados para construir a consulta (ARONOFF, 1995). A linguagem mais utilizada para consulta de banco de dados relacionais é a SQL (sigla em inglês para Linguagem de Consulta Padrão): esse tipo de linguagem é independente da estrutura do banco de dados.

Com a linguagem de consulta SQL, informações em banco de dados estão mais acessíveis para os usuários, não exigindo conhecimentos de informática/programação para formular consultas semelhantes à linguagem falada, tornando o seu uso muito popular (ARONOFF, 1995; TEIXEIRA, 1997).

Modelo de dados é uma definição formal dos dados requeridos em um SIG, e pode ser representado por duas formas: uma lista estruturada e um diagrama entidade-relacionamento e deve garantir a identificação e descrição dos dados com rigor e sem ambiguidade, onde o usuário e o analista do SIG concordem com as suas definições.

O modelo de dados é então uma especificação formal para as entidades/objetos, seus atributos e os relacionamentos entre as entidades no SIG. A modelagem de dados descreve relacionamentos entre entidades, onde as possibilidades de relacionamentos entre entidades são do tipo: um-para-um; um-para-muitos; e muitos-para-muitos.

Projetar um modelo de dados relacional é um processo que envolve: identificação das entidades; definição dos atributos; e determinação dos relacionamentos entre as entidades. Deve ser um processo iterativo, com participações efetivas do pesquisador do sistema e do pessoal que fará uso do modelo. O analista constrói o esboço, faz revisões do modelo e pode repetir várias vezes o ciclo.

A identificação de entidades é provavelmente o passo mais importante neste processo. As entidades são pessoas, lugares ou coisas, compreendendo uma definição da entidade física (ex: bosque de mangue) que necessita de atributos não-gráficos (tipo, área) anexados a ela, acompanhada da definição da entidade espacial correspondente (ex: polígono).

As estruturas das tabelas tomam como base as propriedades das entidades representadas na base de dados. Após a identificação das entidades, definem-se quais os atributos ou informações necessários ao projeto.

A determinação dos relacionamentos é resultado das diferentes percepções que o pesquisador tem do seu modelo relacional. Um relacionamento é estabelecido entre tabelas através de uma "chave", que é um atributo comum às tabelas. Uma terceira tabela poderá ser usada para definir um relacionamento entre duas outras tabelas.

Como exposto anteriormente, um modelo de dados pode ser representado por duas formas notacionais: uma relação, contendo o nome da entidade e seus atributos; e um diagrama entidade-relacionamento com as entidades, seus atributos e os relacionamentos entre as entidades.

As pessoas entendem, intuitivamente, os relacionamentos espaciais que existem entre objetos se olham rodovias representadas em um mapa que se interceptam: a rodovia A cruza a rodovia B. Igualmente concluem que, adjacente à sua casa, foi construído um parque de diversões.

Para o SIG entender o relacionamento entre objetos em um mapa, os relacionamentos intuitivos devem ser convertidos para relacionamentos físicos, descritos em termos de definições, tais como contiguidade e conectividade.

A topologia é o método matemático usado para estabelecer estes relacionamentos espaciais e a estrutura topológica arco-nó é provavelmente a mais difundida para armazenamento de dados em um SIG.

O SIG utiliza o arco como unidade básica, formado por pontos que começam e terminam em um nó. No modelo de dados arco-nó, um nó é o ponto de

interseção de arcos. O polígono é formado por arcos conectados para definir um contorno de área e nós não conectados a arcos representam pontos (ARONOFF, 1995).

O armazenamento dos elementos do modelo topológico: nós, arcos e polígonos, é feito em tabelas distintas. As coordenadas relativas a estes elementos são armazenadas em uma quarta tabela.

Um modelo de dados estruturados topologicamente é apropriado para análise de operações espaciais como contiguidade e conectividade. Contiguidade é o relacionamento espacial de adjacência, isto é, os elementos que tocam uns aos outros são adjacentes. Conectividade refere-se a elementos que estão interconectados ou em rede para transportar algo. As ruas das cidades, os cabos do sistema de telefone e os fluxos de um rio, são exemplos de transporte em rede, segundo Aronoff (1995).

A topologia permite ao SIG a detecção de erros. O usuário pode usar a topologia para checar os polígonos e verificar se um conjunto de polígonos está completamente conectado e se não há vagas entre os nós ou interrupções nas linhas que os definem. Um conjunto de polígonos que atenda a essas características é chamado de topologicamente limpo.

Arcos que se conectam ao mesmo nó são testados para ver se existe alguma duplicação. Um software de SIG deverá ter a habilidade para checar e construir automaticamente a topologia de arcos não conectados e ser capaz de descobrir e eliminar automaticamente a duplicação de arcos.

Informações geográficas são armazenadas em um projeto criado no software SIG, onde as informações gráficas são armazenadas como mapas e as informações não-gráficas são armazenadas como tabelas em um banco de dados. A produção de uma base de dados envolve procedimentos que dependem de fontes de informações, com características espaciais e temáticas de um fenômeno real.

Para Sendra (2000), existem dois grandes tipos de fontes de dados:

- a) Fontes de observação direta da realidade: para a captura fiel de seus atributos;
- b) Fontes de observação indireta da realidade.

Os métodos para observação direta da realidade se utilizam de equipamentos modernos e precisos para levantamentos da informação espacial: estações totais, níveis eletrônicos, receptores do sistema GNSS: GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS e outros.

Já os métodos de observação indireta da realidade, para a geração da base de dados digital, utilizam mapas analógicos de informações temáticas, fotografias aéreas, imagens de satélites, registros tabulares e processos que compreendem:

- a) *digitalização automática*: corresponde à obtenção de arquivos digitais através da vetorização das feições cartográficas apresentadas no formato matricial (*raster*); o documento cartográfico fonte é submetido a um processo de transformação de formato vetorial analógico para o formato matricial, pela utilização de *scanner* que possa garantir boa exatidão geométrica;
- b) *restituição estereofotogramétrica digital*: a base de dados é construída através da utilização de estações fotogramétricas digitais, que permitem transformar imagens digitais/fotografias aéreas em elementos vetoriais correspondentes;
- c) *técnica de sensoriamento remoto*: as informações são extraídas de imagens através de simples vetorização ou por tratamento digital para a produção de classificação, por temas, automática de imagens; e
- d) *geração de geometria analiticamente*: procedimento mediante o qual constrói-se feições gráficas em um arquivo digital, com as coordenadas X, Y e Z que definem as entidades espaciais do mundo real.

A associação de um objeto geográfico a um banco de dados corresponde ao relacionamento entre este objeto e uma linha de uma tabela do banco de dados relacional. Esta associação é realizada por um conjunto de ferramentas que utiliza um único número armazenado em ambos: na linha da tabela do banco de dados e no objeto da base de dados.

À base de dados espaciais de um estuário, em ambiente de SIG, pode ser associado a tabela de atributos, construída no banco de dados, que poderá conter dados e informações tipo: área de bosques de mangues e apicuns, espécie de mangue, qualidade da água utilizada nos tanques de carcinicultura, e outros.

Cada tabela em um banco de dados relacional é uma coleção de informações sobre um determinado tipo de objeto ou entidade, onde cada entidade individual é representada por uma linha e os atributos das entidades são representados por colunas. Para Câmara *et al.*, (1995) e Haras (1997), para que a

conexão de dados descritivos aos dados gráficos se processe, algumas condições devem ser estabelecidas:

- a) "manter um relacionamento único entre dados gráficos sobre o mapa e registros na tabela de atributos;
- b) manter a ligação entre o dado gráfico e o registro através de um único identificador; e
- c) manter o identificador armazenado fisicamente no arquivo que contém os dados gráficos e no arquivo que contém o correspondente registro da tabela de atributos."

O estabelecimento dos relacionamentos entre as entidades do modelo de dados e seus atributos permitirá ao usuário gerar consultas ao SIG para produção de mapas temáticos e relatórios pertinentes.

3.2.3 *Análises espaciais utilizando base de dados de SIG*

A consulta à base de dados do SIG vetorial objetiva obter informações espaciais e/ou valores de atributos que atendam a determinadas condições estabelecidas: qual a dinâmica espacial do estuário no período estabelecido, por exemplo. Segundo Puebla (2000), para operacionalizar buscas e extração de informações em uma base de dados de um SIG vetorial são utilizadas duas formas de consultas: por atributos e espacial.

A consulta por atributos relaciona-se com os valores dos atributos descritivos da base de dados, permitindo responder a questões do tipo:

- a) Selecionar e exibir estuários que apresentaram regeneração e a que taxas, no período compreendido entre os anos de 1985 a 2007;
- b) Selecionar e exibir todas as áreas de manguezais que sofreram processos de degradação e a que taxas;
- c) Exibir e produzir mapa temático com a representação de todas as áreas de manguezais, sistemas viário/drenagem, e unidades ambientais das áreas dos entornos;
- d) Gerar mapa temático com os manguezais conforme grau de evolução de degradação/regeneração.

Consulta espacial diz respeito às consultas que envolvem relacionamentos espaciais entre os objetos geográficos selecionados: qual a evolução espaçotemporal dos manguezais na análise dos anos de 1985 a 2008?

O processo de estabelecimento do modelo de dados para o SIG deverá envolver, inicialmente, a identificação das entidades do mundo real, seguida pela definição dos respectivos atributos e, por último, o estabelecimento dos relacionamentos entre as entidades.

A identificação de entidades é considerada a fase mais importante num SIG e compreende a identificação da entidade física relacionada à entidade gráfica espacial que a representará na base de dados. Para efetiva implementação, deverá ser adotado o que se segue: Identificar com precisão as entidades que o mundo real modelado envolvem, os seus atributos e os seus relacionamentos; Implementar tabelas para cada entidade, cujos campos são seus atributos; Escolher campos comuns (chaves) que permitam implementar os relacionamentos.

Para a integração de documentos cartográficos de diferentes fontes no mapeamento digital a ser utilizado para desenvolvimento do SIG, serão efetuados procedimentos de edição e tratamento cartográfico necessários: georreferenciamento com transformação de sistemas de projeção cartográfica/datum geodésico, mudança de escala e validação dos dados para eliminação de erros.

Após o tratamento cartográfico, tratamento digital de imagens, classificação de imagens da base de dados gráficos, haverá a necessidade de realizar checagem dos elementos/feições gráficas desta base, interessantes ao projeto. A reambulação/verdade de campo, além de checar os dados da base, servirá para levantar as alterações surgidas.

A conexão dos objetos geográficos da base de dados gráficos a um banco de dados implica em relacionar estas entidades/feições a uma tabela criada num Banco de dados do sistema de informação. Sendo assim, a entidade gráfica polígono que representa, por exemplo, o perímetro de um imóvel na base de dados georreferenciados, é associada a registros da tabela de atributos.

A carga no sistema compreende a inserção dos valores dos atributos nas tabelas do usuário criadas no banco de dados e pode ser efetuada por simples inserção via teclado, ou através de aplicativos extratores de dados, que têm a função de extrair informações de bancos de dados existentes de forma automática.

O estabelecimento de relacionamentos entre entidades do modelo de dados e seus atributos, permitirão ao usuário gerar consultas para produção de

informações espaciais e/ou valores de atributos que atendam a determinadas condições estabelecidas. Os resultados das consultas são informações geográficas que podem ser representadas espacialmente ou apresentadas em relatórios personalizados, e fornecem elementos para planejamento de políticas públicas que incluem processos relativos à reestruturação fundiária, planejamento ambiental e ordenamento territorial.

3.3 Métodos e materiais utilizados

3.3.1 *Processamento de imagens e avaliação de condicionantes*

As imagens do sensor TM do satélite LANDSAT 5, para utilização no mapeamento de bosques de mangues do litoral oeste cearense, foram realçadas pela técnica de realce de contraste linear e registradas através de mosaicos controlados Geocover (NASA, 2012), compostos por imagens ortorretificadas e articuladas em quadrículas na escala de 1:1.000.000 (Carta Internacional ao Milionésimo), em software comercial.

Quanto à produção de dados espaciais relativos aos manguezais, foram empregadas técnicas de processamento digital para correção de efeitos relacionados à interferência da atmosfera que geram degradação e comprometem a análise e interpretação de imagens orbitais, porque afetam os valores dos *pixels* na imagem pela diminuição do contraste entre objetos na imagem (NOVO, 2008). Registre-se que a interferência atmosférica provoca o espalhamento da radiação eletromagnética, adicionando valores à resposta espectral original, e o processamento digital aplicado às imagens faz as correções radiométricas com vistas à análise e interpretação das classes de feições de interesse.

As correções atmosféricas poderiam ser efetuadas com modelos matemáticos e parâmetros atmosféricos relativos a dados meteorológicos correspondentes à hora e data da passagem do satélite. Entretanto, em vez da utilização de modelos matemáticos para as correções atmosféricas, foi utilizada a técnica que consiste na identificação, na imagem, de áreas com sombras de relevo, sombras de nuvens ou corpos límpidos d'água, onde se assume que essas áreas possuem radiância zero. Nessas áreas, valores de níveis de cinza não nulos corresponderiam, portanto, ao efeito aditivo do espalhamento atmosférico. Dessa

forma, o valor medido em cada banda espectral deveria ser subtraído dos valores digitais de toda a cena (CEPSRM, 2012), para efetiva correção atmosférica.

Para atender aos objetivos propostos para o projeto de pesquisa foram escolhidas as bandas correspondentes aos canais, variando do vermelho ao infravermelho médio, contidos em faixas do espectro eletromagnético que melhor destacam informações e características da vegetação e de zonas úmidas do solo.

Após as correções geométricas e dos efeitos atmosféricos, foram efetuados os ajustes de histogramas das bandas b7, b5, b4 e b3 para realçar feições da superfície observada, aplicando função linear. Com as bandas processadas digitalmente, foram geradas composições coloridas em RGB de todos os estuários correspondentes ao período de 1985 a 2008, para a geração da classificação de bosques de mangues com base em regras do especialista/fotointérprete e por abordagem orientada a objeto.

Em prosseguimento, para realçar características das superfícies dos estuários observados, foram processados valores relativos à razão espectral entre as bandas b3, b4, b5 e b7 das imagens do sensor TM do LANDSAT 5 com vistas à redução das diferenças de iluminação que tem como causa o relevo. As razões entre bandas ou razões espectrais, utilizadas nesta pesquisa, foram: i) $b4/b3$; ii) $b5/b3$; e iii) $b7/b3$.

Para a extração de informações para as classes de bosques de mangues, através da segmentação multirresolução e classificação orientada a objeto foram geradas composições coloridas em RGB ($Rb7/b3Gb5/b3Bb4/b3$) para os anos entre 1985 a 2008 (Figura 2):

A composição colorida estabelecida para a extração de informações de classes de bosques de mangues destaca a vegetação em tons de laranja, mais fortes que outras feições em seus entornos. Ressalte-se que, entre tantas outras composições definidas por sucessivas tentativas, foi a que melhor destaque apresentou para a abordagem da temática.

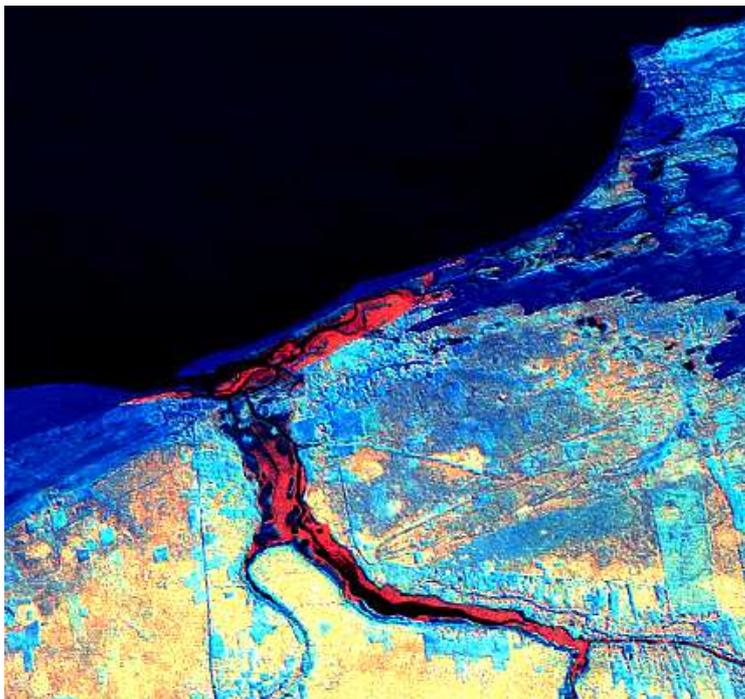


Figura 2 - Composição colorida em RGB (Rb7/b3Gb5/b3Bb4/b3)

Em tese, a extração de informações, envolvendo conhecimentos e regras do especialista humano, pela inspeção visual da imagem, e a análise quantitativa baseada na extração de informações orientada a objetos, embora tendo as suas próprias características e regras, são complementares, afirma Richards (1995), haja vista que o método de Classificação Orientada a Objetos depende do conhecimento para identificar as amostras das classes de feições e estabelecer o conjunto de regras para a segmentação.

3.3.2 Segmentação multirresolução

A segmentação multirresolução particiona a imagem em objetos, com diferentes escalas, baseada em regras visuais inerentes ao processo cognitivo. O espaço visual é segmentado em elementos discretos e contínuos que têm significados. Com a segmentação multirresolução, os objetos são construídos por *crescimento de regiões*, técnica que funde os *pixels* da imagem para formar os objetos com base em critérios de decisão que compreendem a minimização da heterogeneidade e o tamanho do objeto. A abordagem orientada a objeto aproxima a forma do objeto construído a partir da imagem à forma do objeto do mundo real, utilizando parâmetros de cor, forma, contexto e significado. No processo de segmentação (Figura 3), aos atributos de cor e forma são atribuídos pesos para

gerar, em uma mesma imagem, objetos em níveis diferenciados de escala, mas que se relacionam entre si e formam uma rede semântica hierárquica com a concepção de superobjetos e subobjetos (BAATZ; SCHäPE, 2000; DEFINIENS, 2003; ENCARNAÇÃO *et al.*, 2007).

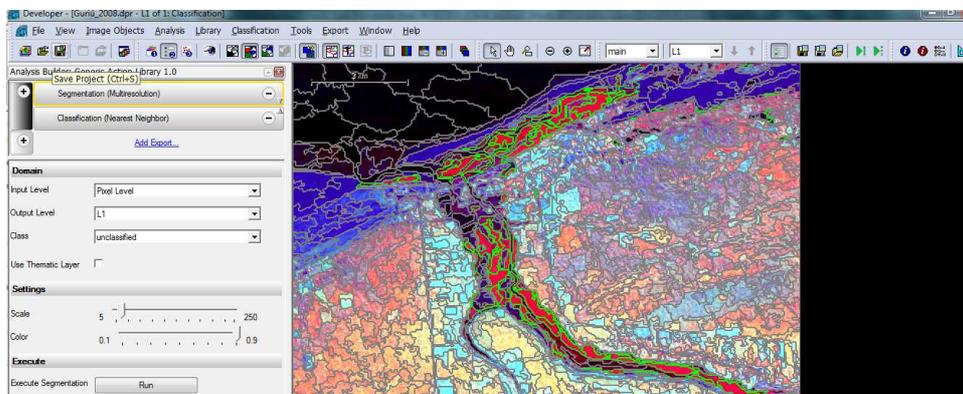


Figura 3 – Segmentação Multirresolução no eCognition Trial 8.0

Para Antunes (2003), a rede semântica é uma notação gráfica representando o conhecimento através da conexão entre arcos e nós. Enfatiza Pinho (2005), que os nós são os conceitos ou categorias relativos a determinado conhecimento e os arcos explicitam as relações entre os nós, e onde as classes herdam atributos e comportamentos das superclasses que as contém. A segmentação multirresolução cria rede com vários níveis hierárquicos de objetos, conectados entre si, onde cada objeto armazena as relações topológicas entre seus vizinhos: superobjetos e subobjetos, tornando-se viável a utilização de informações semânticas do contexto para aperfeiçoar os resultados da classificação.

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 (Figura 4) 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, 2007):

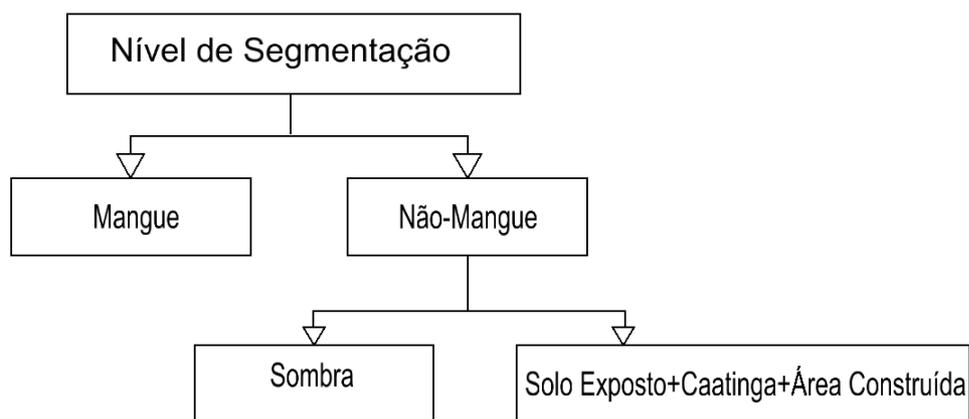


Figura 4 - Rede Semântica para segmentação de bosques de mangues e entorno

Fonte: Adaptado de PINHO (2006)

A criação de redes de objetos na imagem origina classes hierarquizadas multiescala, numa abordagem sistêmica e que parte da formalização das relações estabelecidas entre as entidades do mundo real, contextualmente espacializadas e com características de aproximação aos objetos reais. A segmentação na classificação com a abordagem orientada a objeto delimita fronteiras de “corpos” singulares e homogêneos presentes na imagem, que resulta do entendimento de concepções espaciais e das propriedades de similitude: cor, forma, topologia e significado (ENCARNAÇÃO *et al.*, 2007).

A etapa da segmentação antecede o processo da classificação orientada a objetos, 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.

3.3.3 *Classificação orientada a objetos dos estuários da costa oeste Cearense*

A abordagem orientada a objeto, estabelecida nesta pesquisa, 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).

Para realizar a classificação orientada a objetos nas imagens dos estuários do litoral oeste do Ceará (Figura 5), foram utilizadas regras de decisão através do algoritmo vizinho mais próximo e regras *fuzzy* do aplicativo *eCognition Trial*.

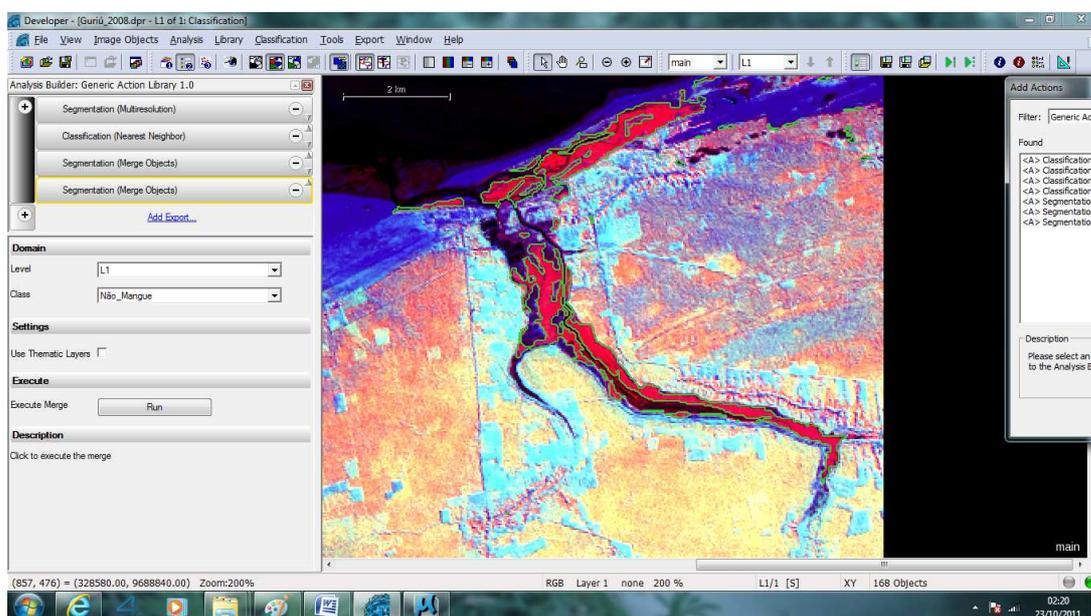


Figura 5 – Classificação orientada a objeto no eCognition Trial 8.0

Os arquivos vetores gerados pela classificação orientada a objetos no software *eCognition Developer Trial*, relativos aos complexos estuarinos da costa oeste cearense, foram exportados no formato **.shapefiles*, com valores de atributos armazenados na base de dados espaciais: bosques de mangues.

O projeto do sistema de informações montado na plataforma SIG foi estruturado para funcionar com base de dados digital com banco de dados relacional e as geometrias das classes de bosques de mangues.

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. 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.

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.

4 QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE DA DINÂMICA DE MANGUEZAIS NA COSTA OESTE CEARENSE

A área da pesquisa é o litoral Oeste do Ceará ou Costa do Sol Poente (Figura 6), que compreendem 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 6 - Municípios do Litoral Oeste do Estado do Ceará

Fonte: Thiers (2012)

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, sendo que na área objeto da pesquisa foram criadas 5 Áreas de Proteção Ambiental (APA's), que se enquadram em categoria de uso sustentável, criadas com vistas à conservação de suas paisagens, que são de reconhecidos valores cênicos, onde inclui-se toda a vegetação do ecossistema manguezal, ameaçados pela pressão antrópica. As

intervenções do homem causam desequilíbrio na sua dinâmica natural, e colocam em risco a sua conservação, por conta 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 que 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.

4.1 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 a 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:

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

Localizado no extremo oeste do Estado do Ceará, no limite interestadual 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. Salientando que é, *de per se*, instrumento para proporcionar o ecoturismo de base comunitária (CAMPOS, 2012). As Unidades de Conservação, segundo Gonçalves e Nogueira (2012), 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 (2012)

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 depreender 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: carcinicultura 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 7 mostra graficamente a evolução das áreas ocupadas por vegetação de mangue no estuário do rio Timonha.

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 8 a 10, e foram produzidas pelo método de classificação orientada a objetos.

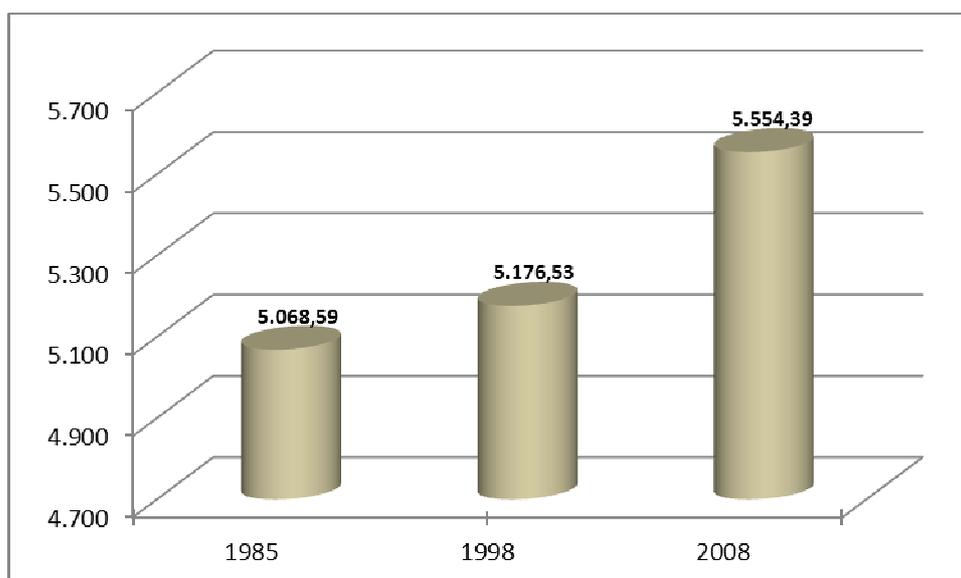


Figura 7 - gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Timonha.

Fonte: Thiers (2013)

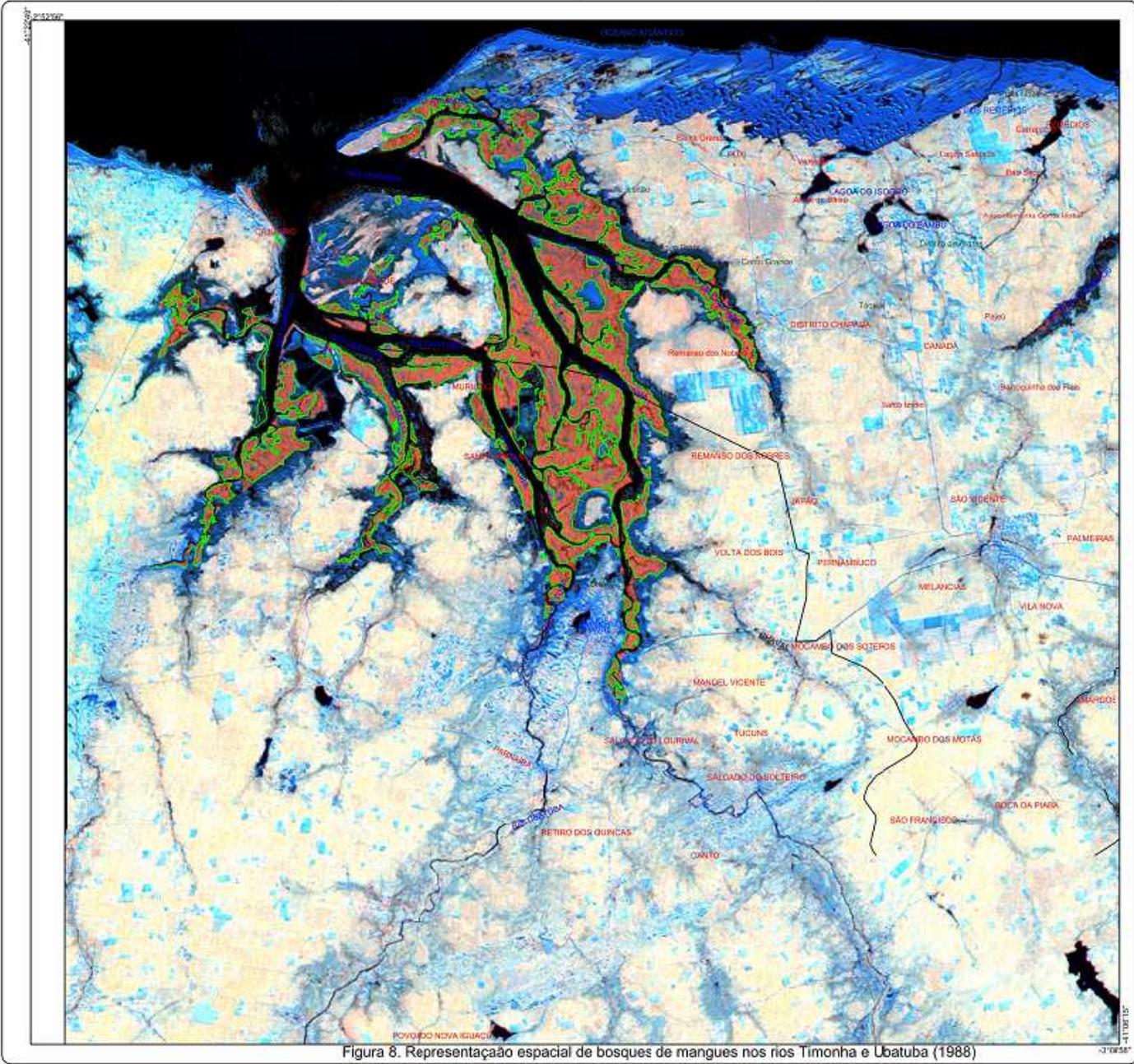


Figura 8. Representação espacial de bosques de mangues nos rios Timonha e Ubatuba (1988)

Fonte: THERS (2012)

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

LOCALIZAÇÃO



CEARÁ

Escala Gráfica

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/86

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
<http://ipece.ce.gov.br/>

Imagens do sensor TM do satélite LANDSAT 5 com resolução geométrica 30m

INSTITUTO DE PESQUISA ESPACIAL - INPE
NASA (Site em inglês para Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço)
<http://ovaia.soc.nasa.gov/ovaia/index.jsp>

FONTE:

Ortodongadas 1:20.000 com vedação geométrica 2m

Levantamento aerofotogramétrico 1:25.000 realizado em 2007

Figura 8 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Timonha (1988)

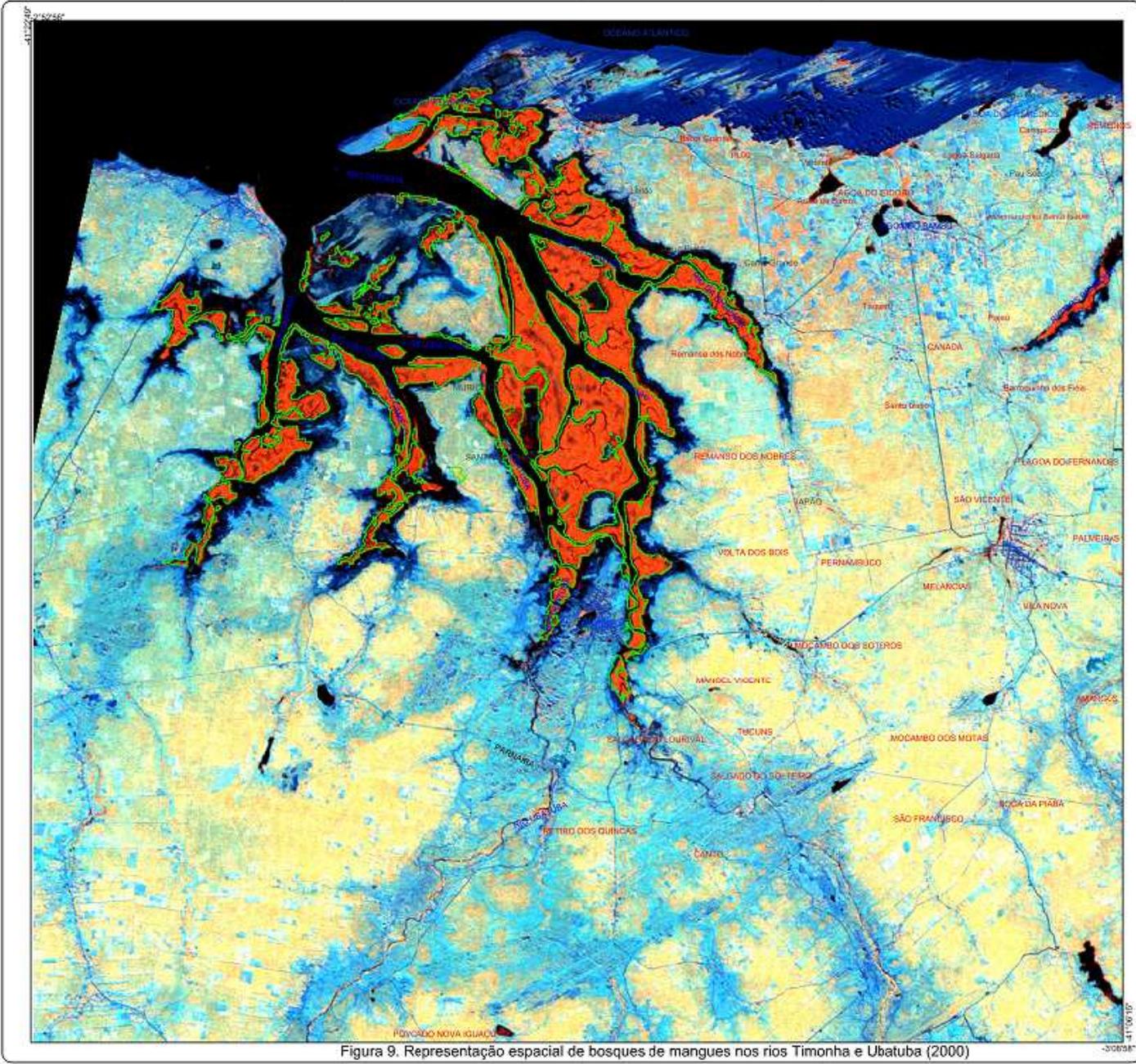
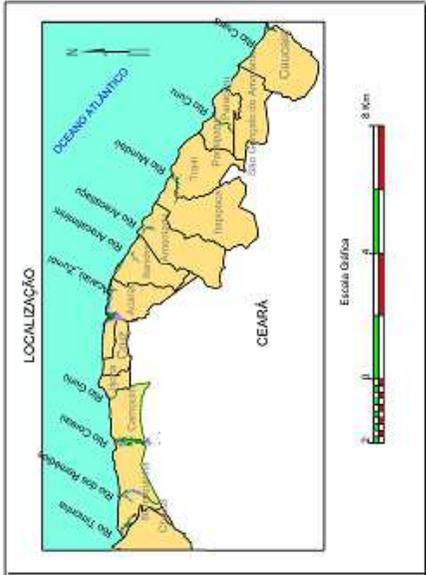


Figura 9. Representação espacial de bosques de mangues nos rios Timonha e Ubatuba (2000)

Fonte: THIERS (2012)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/96

FONTE:
Coordenadas: 1:20.000 com resolução geométrica 2m
Levantamento aerofotogramétrico 1:35.000 realizado em 2007
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
<http://ipece.ce.gov.br>
Imagens de sensor TM do satélite LANDSAT 5 com resolução geométrica 30m
INSTITUTO DE PESQUISA ESPACIAL - INPE
<http://inpe.br>
NASA (figa em inglês - Administração Nacional de Aeronáutica e do Espaço)
<http://satellat.esac.nasa.gov/earthdata/>

Figura 9 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Timonha (2000)

4.1.2 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 32 km da sede do município de Camocim, Estado do Ceará, que se localiza a 369 Km 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 (2012)

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 a 2000: incremento de 64,89 ha, 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 11 mostra a evolução espacial das áreas de manguezal no estuário do rio dos Remédios nos anos de 1985, 2000 e 2006.

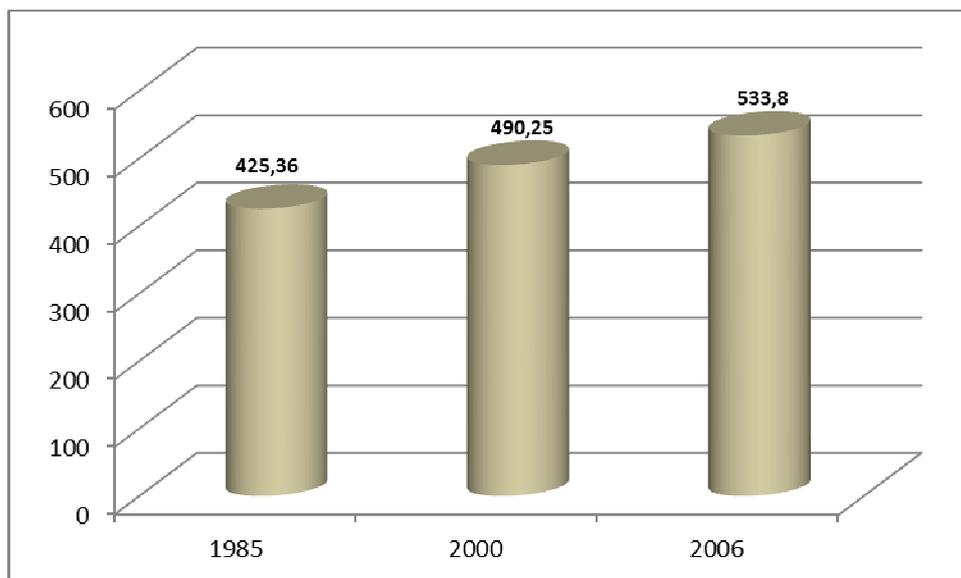


Figura 11 - gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio dos Remédios.

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 12 a 14, e foram produzidas pelo método de classificação orientada a objetos, e justificam os números apresentados.

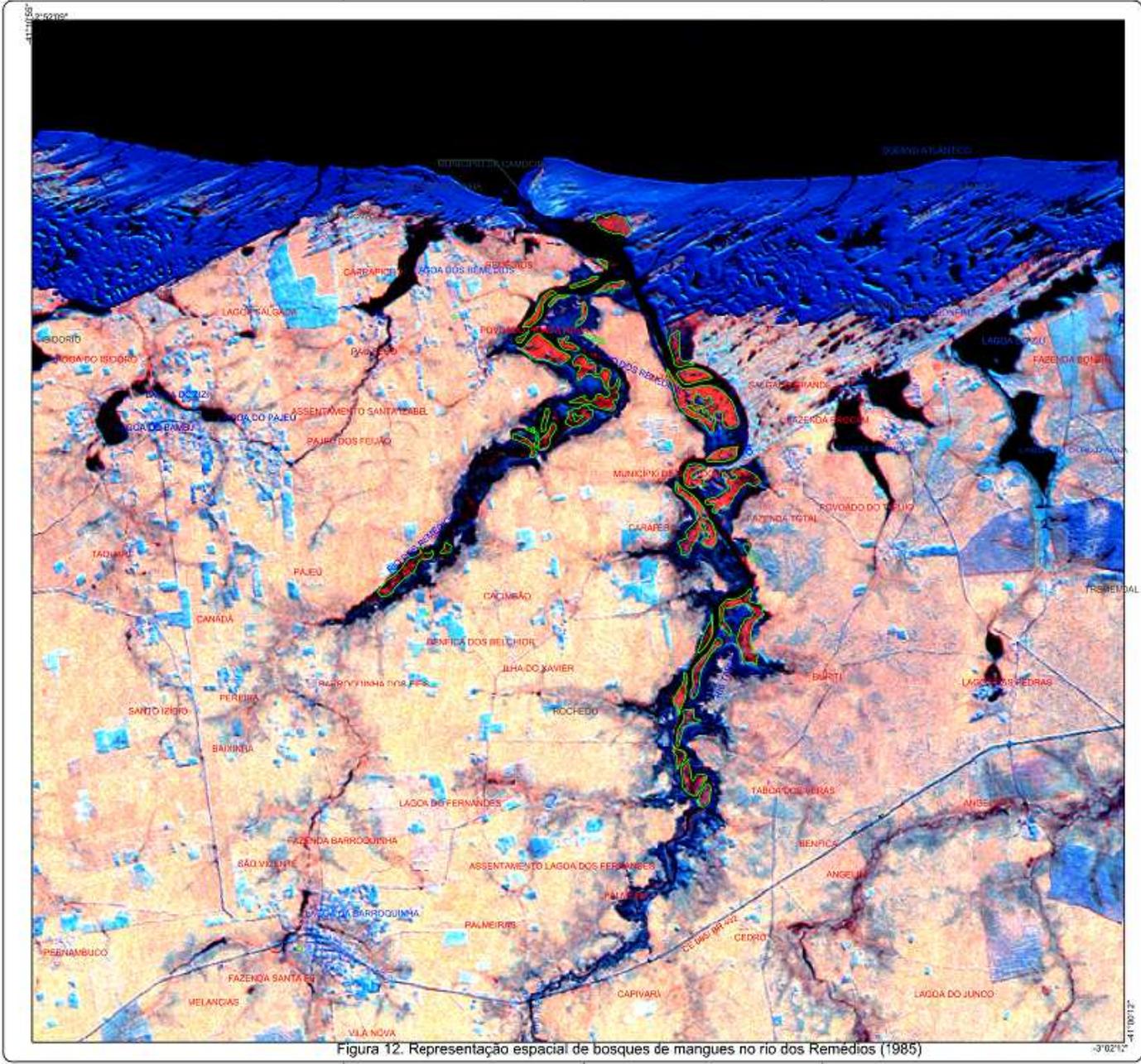
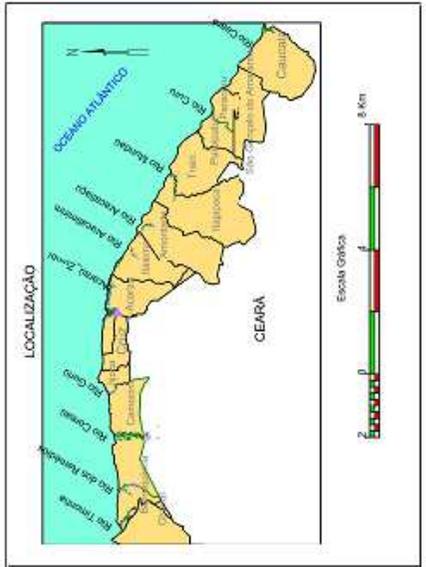


Figura 12. Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (1985)

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/96

FONTE:
Dados: Imagens 1:25.000 com resolução espacial 2m
Lançamento aerofotogramétrico 1:30.000 realizado em 2007
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
Imagens de sensor TM do satélite LANDSAT 5 com resolução espacial 30m
INSTITUTO DE PESQUISA ESPACIAL - INPE
MASC (Sistema de Informações Nacionais de Aterrestre e do Espaço)
<http://www.inpe.gov.br>

Figura 12 - Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (1988)

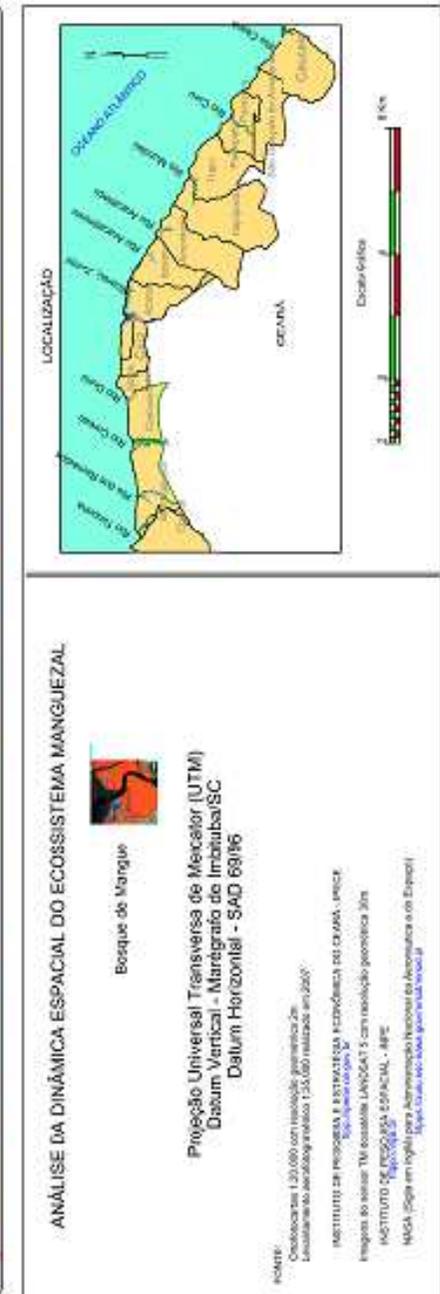
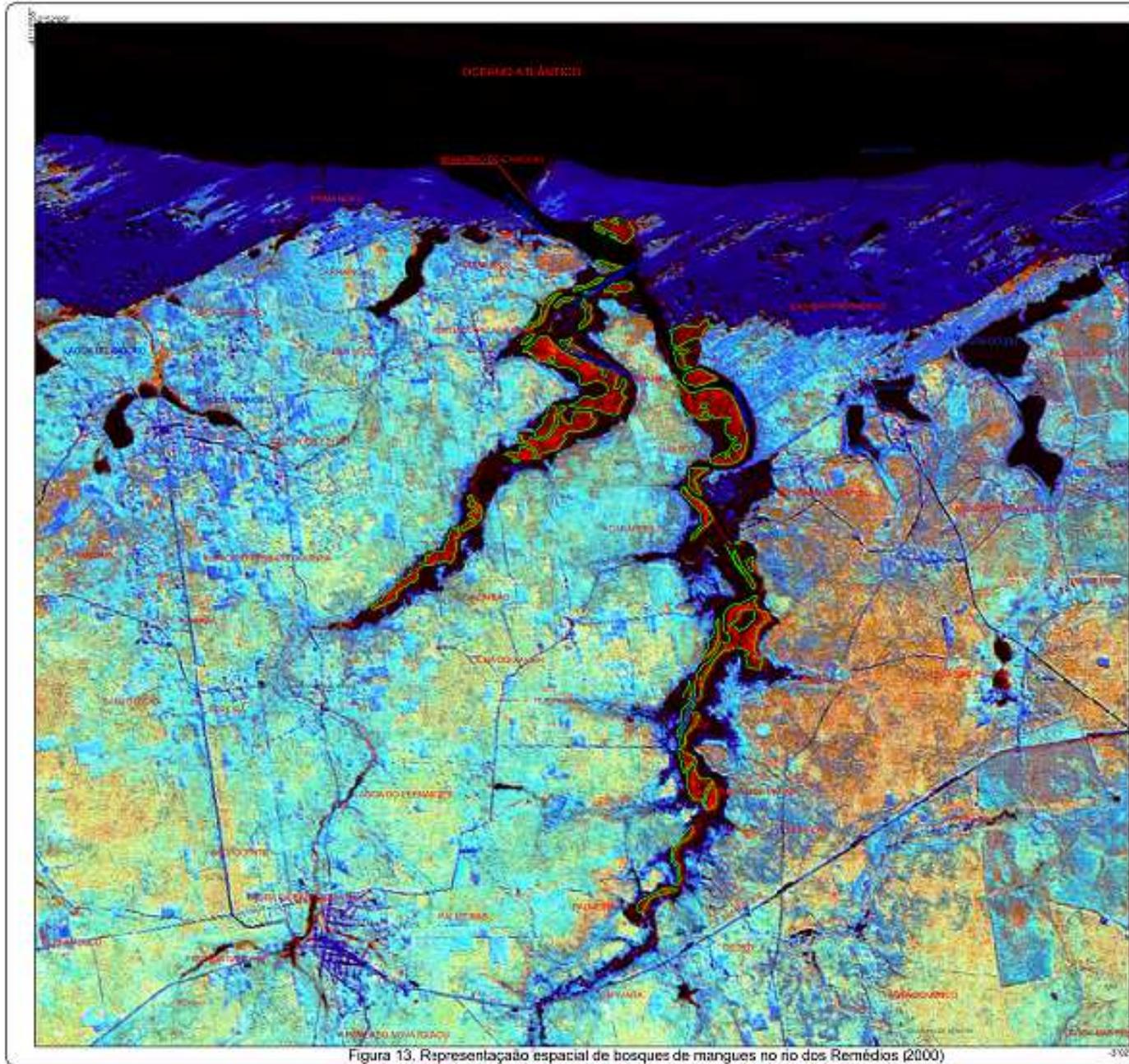


Figura 13 - Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (1999)

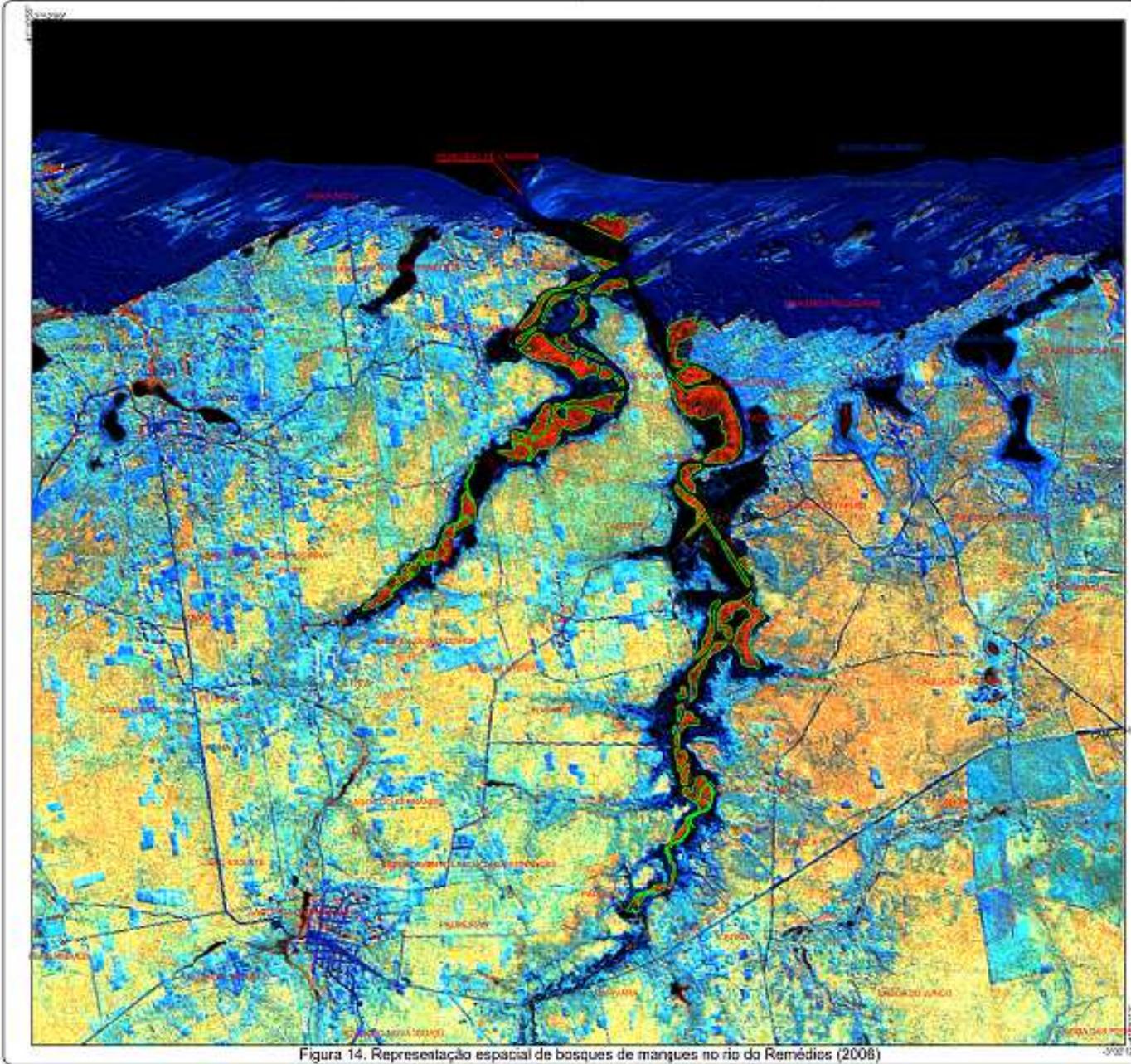


Figura 14. Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (2008)

Fonte: TEIXEIRA (2012)

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECSSISTEMA MANGUEZAL

Bosques de Mangues

LOCALIZAÇÃO

CEARA

Escala Gráfica

0 5 Km

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbuaba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/96

NOTAS:
 - O levantamento foi realizado através de observações aéreas.
 - O levantamento aerofotogramétrico foi realizado em 2007.
 - O INSTITUTO DE PESQUISA E SANEAMENTO DO CEARÁ - IPROCS
 - Imagens do sensor TM/LSV do satélite LANDSAT 5 com resolução espacial de 30m
 - INSTITUTO DE PESQUISA E SANEAMENTO DO CEARÁ - IPROCS
 - NASA (2004) em inglês para Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço
 - <http://sda.usgs.gov/landsat/>

Figura 14 - Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios (2007)

4.1.3 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 semi-árido, 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, junção 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.

Apresenta-se na Tabela 6 os valores de quantitativos de áreas (ha) das classes de bosques de mangues do estuário do rio do 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%

Fonte: Thiers (2013)

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 que 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 15 possibilita visualizar, graficamente, a evolução espaciotemporal da vegetação de mangue no estuário do rio Coreaú.

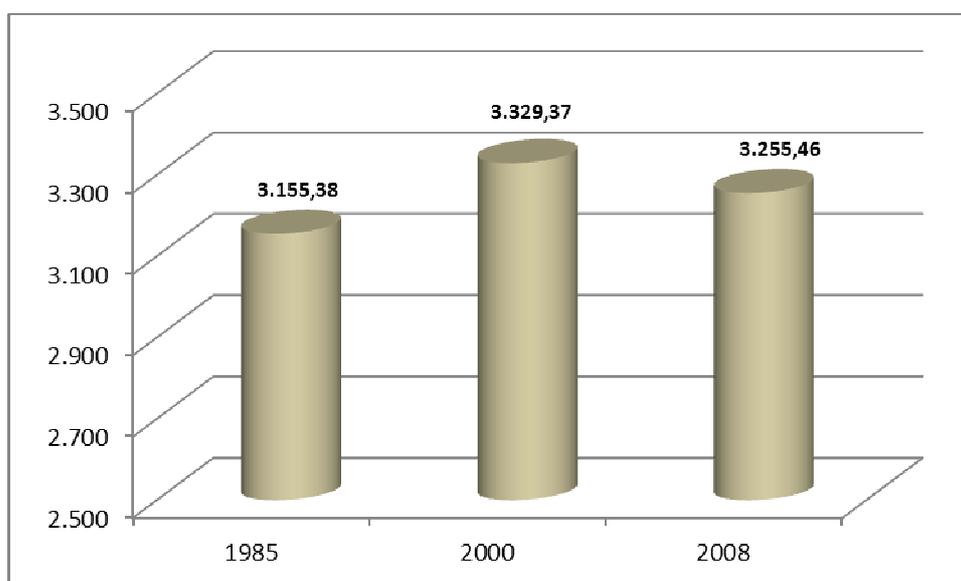


Figura 15 -- gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Coreaú.

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, em que 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 e que contribuíram, significativamente, para remoções

prematuras das coberturas vegetacionais de mangue. De tal modo, torna-se urgente a ação de medidas que visem assegurar a manutenção/ampliação das áreas de mangue no estuário do rio Coreaú.

As figuras 16, 17 e 18 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.

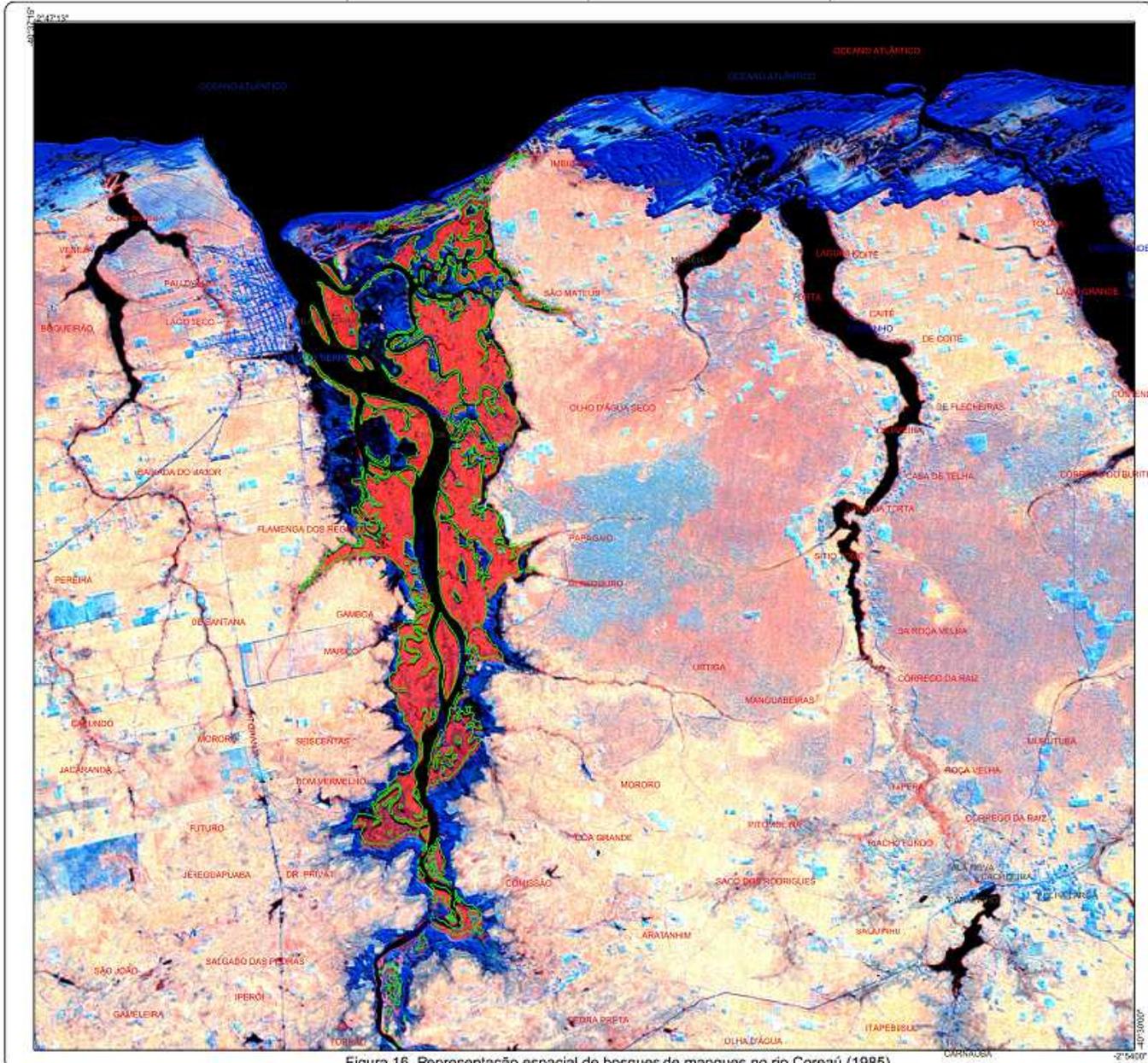


Figura 16. Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreau (1985)

Fonte: THIERS (2012)

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/95

LOCALIZAÇÃO

FONTE:
 DTM: 1:20.000 com resolução geométrica 2m
 Levantamento aerofotogramétrico 1:20.000 realizado em 2007
 INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
 Imagem do sensor TM do satélite LANDSAT 5 com resolução geométrica 30m
 INSTITUTO DE PESQUISA ESPACIAL - INPE
 NASA, disponível em: <http://segs1.gsfc.nasa.gov/segs/imagery.html>

Figura 16 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreau (1985)

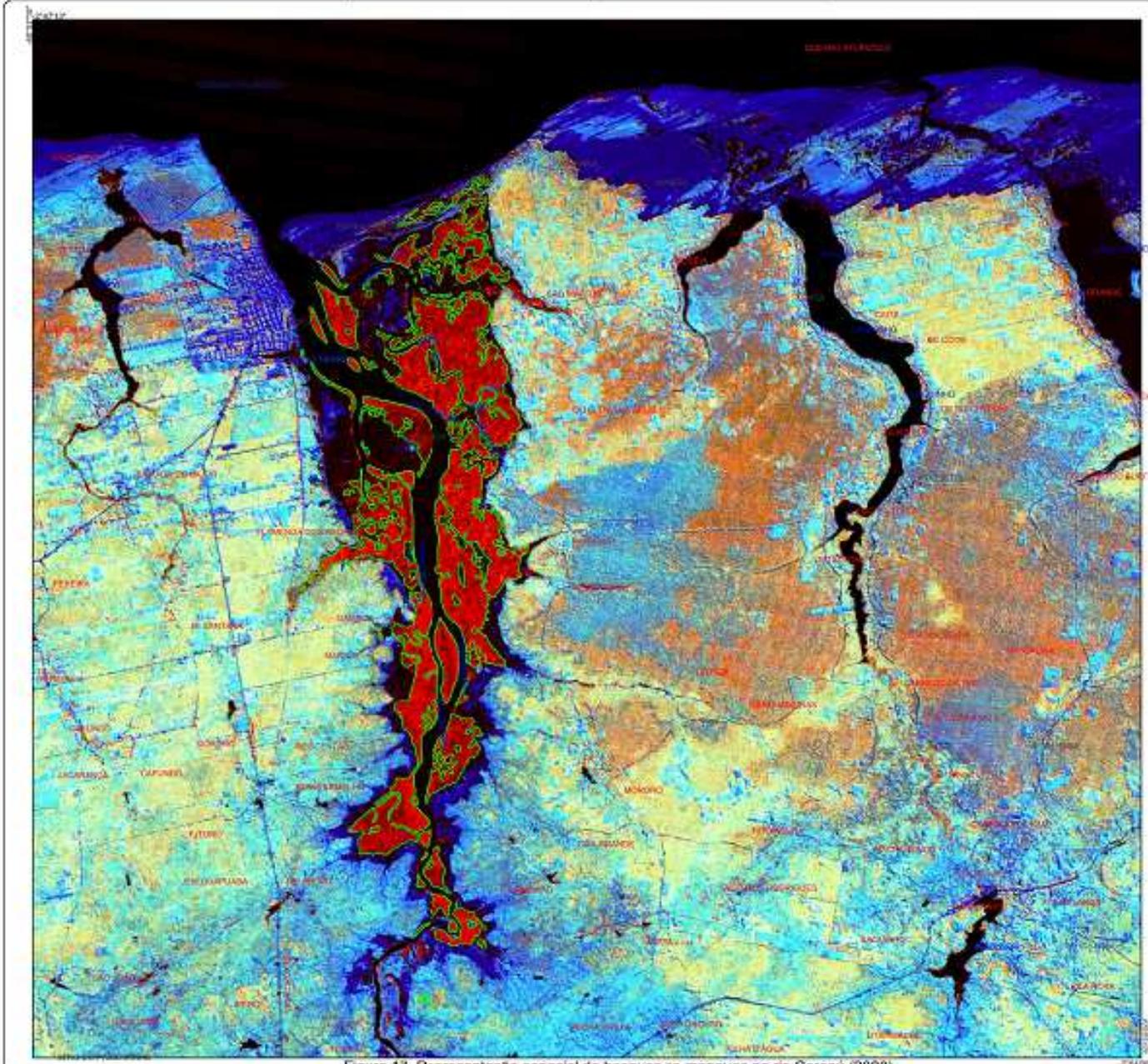


Figura 17. Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreau (2000)

Fonte: THIERS (2003)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbuizal/SC
Datum Horizontal - SAD 68/86

Fonte:
Coordenadas: 120000 com radiação local (LHA)
Levantamento aerofotogramétrico 1:50.000 realizado em 2007
INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
Imagem do sensor TM do satélite Landsat 5 com resolução espacial de 30m
Reprojeção de Imagens SPANZA, 1998
MMA (2004) em <http://www.mma.gov.br>
MMA (2004) em <http://www.mma.gov.br>

Figura 17 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreau (1996)

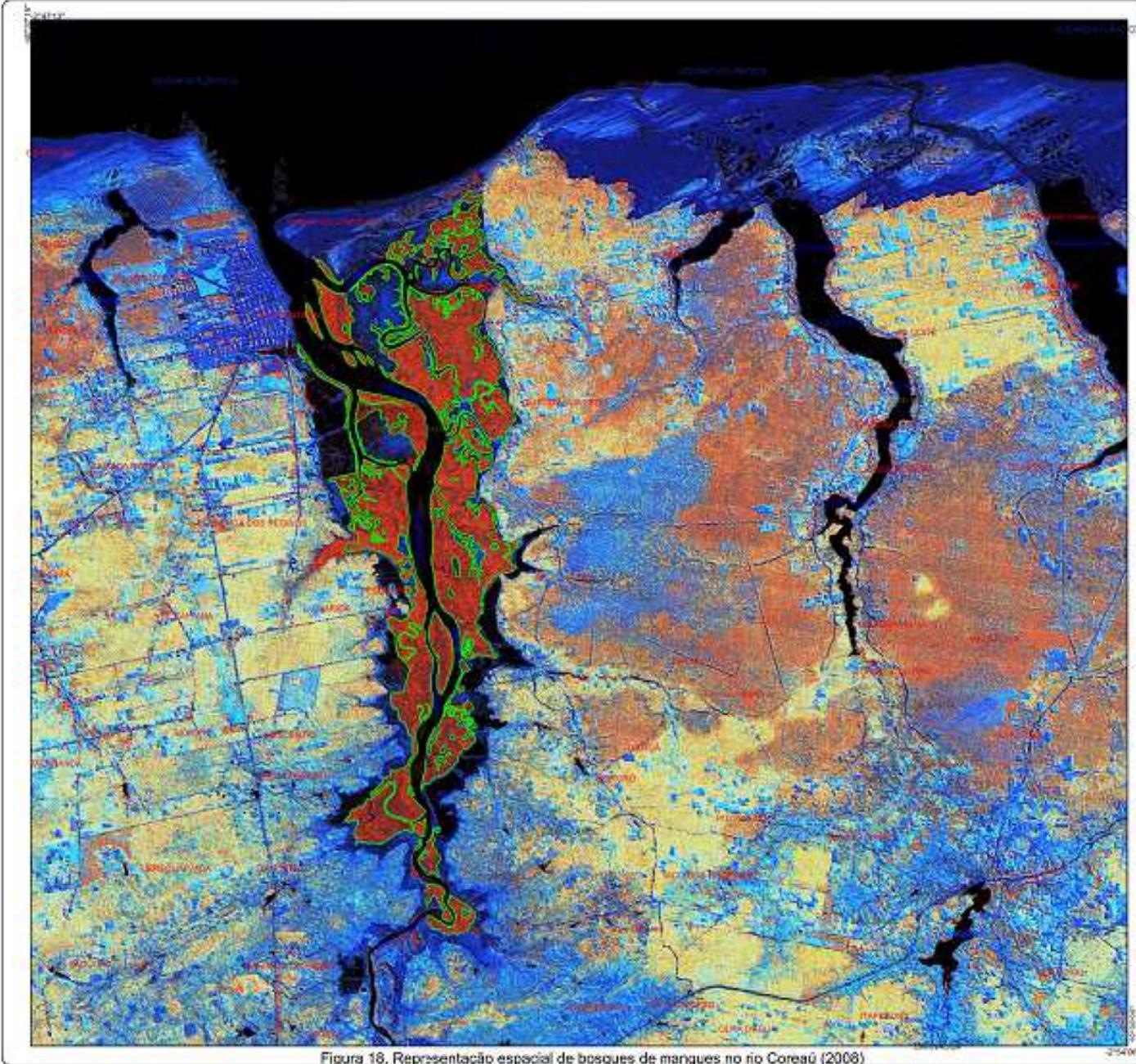


Figura 18. Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreaú (2008)

Fonte: THEREZ (2011)

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marigráfico de Ambulua/SC
Datum Horizontal - SAD 69/16

Fonte: elaboração: TEREZ (2011) com base nos dados do Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado de Pernambuco - IPECE. Imagem do sensor TM de satélites LANDSAT 5 com resolução espacial de 30m. INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE PERNAMBUCO - IPECE. AMBA (Siga em inglês para Administração Nacional de Aeronáutica e do Espaço) http://www.nasa.gov/images/content/104681main_010101.jpg

LOCALIZAÇÃO

CEARA

Figura 18 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Coreaú (2008)

4.1.4 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, e o seu acesso é realizado através de trilhas e 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) (SEMACE, 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 (2012)

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 em um crescimento vigoroso, levando-se em consideração a pequena variação temporal da análise. A Figura 19 mostra a curva ascendente dos dados observados da área ocupada por bosques cobertos por mangue no estuário do rio Guriú.

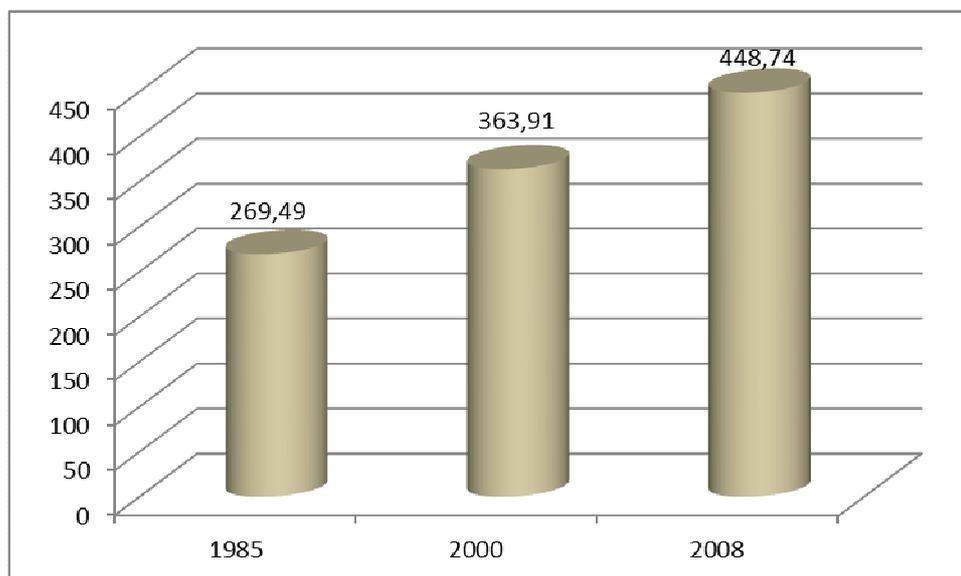


Figura 19 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Guriú.

Fonte: Thiers (2013)

A análise da Figura 19 e dos dados apresentados no Quadro 5, permitem concluir que houve intenso crescimento das áreas cobertas por mangues no estuário do rio Guriú. Como esse complexo vegetal 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 20 a 22, e foram produzidas pelo método de classificação orientada a objetos.

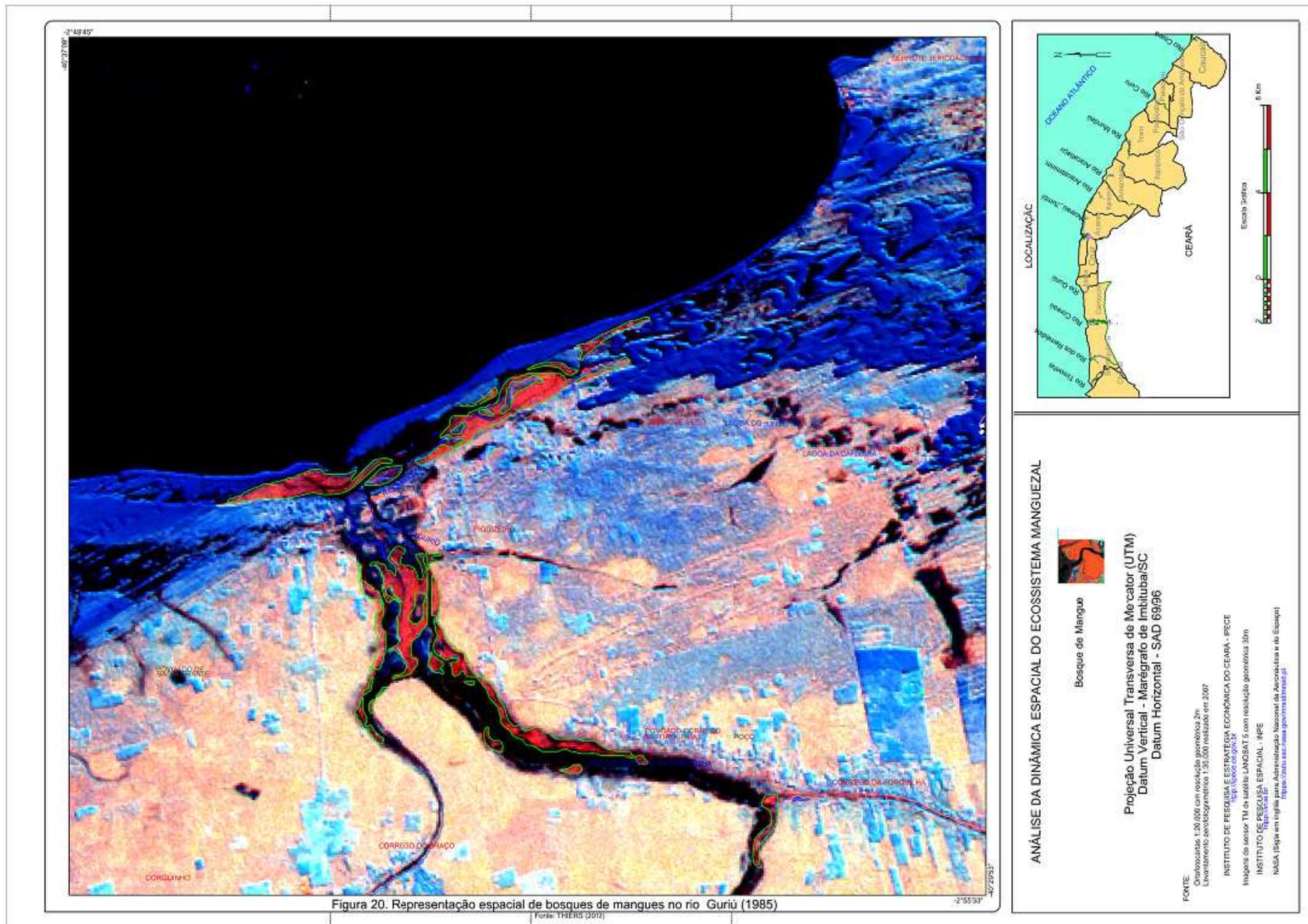


Figura 20 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Gurui (1988)

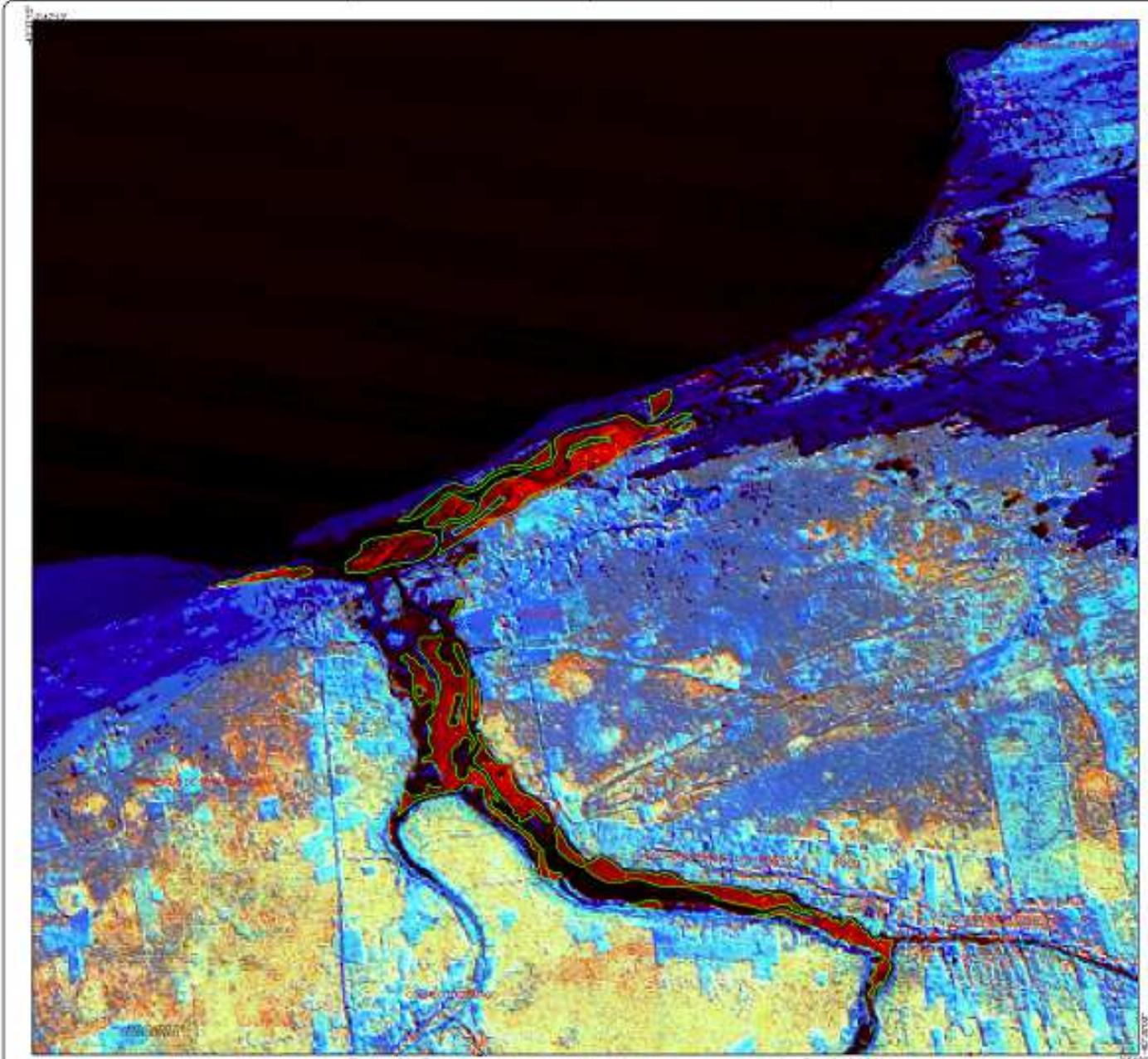


Figura 21. Representação espacial de bosques de mangues no rio Gurú (2000)

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosques de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Inhúas/ISC
Datum Horizontal - SAD 69/96

FONTES:
 - Densidade: 1:25.000 com projeção genérica 2m
 - Levantamento aerofotogramétrico: 1:25.000 realizado em 2007
 - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTIMATIVA ECONÔMICA DO Ceará - IPOCE
 - Mapa do município de Inhúas, Ceará, 1998
 - INSTITUTO DE PESQUISA E ESTIMATIVA ECONÔMICA DO Ceará - IPOCE
 - NASA (2004) em regime para Administração Nacional de Aeronáutica do Espaço
 - <http://www.nasa.gov>

LOCALIZAÇÃO

ESCALA

Figura 21 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Gurú (1998)

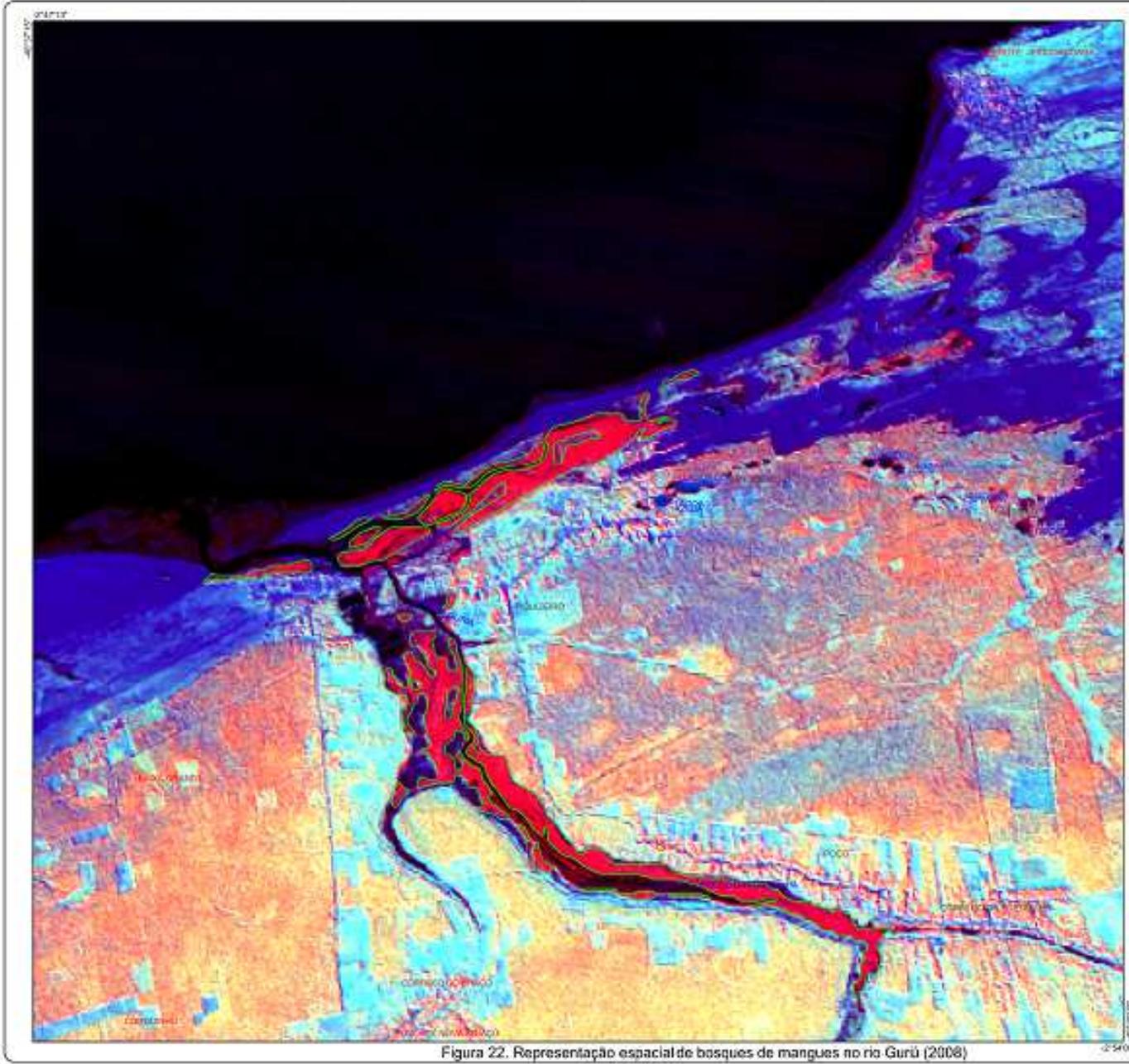


Figura 22. Representação espacial de bosques de mangues no rio Gurú (2008)

LOCALIZAÇÃO
CEARÁ

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Meridiano de Inibuaçu/SC
Datum Horizontal - SAD 69/96

FONTE:
Ortofotomapa 1:25.000 com resolução espacial de 2m
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, setembro de 2007
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
Imagem do sensor TM do satélite LANDSAT 5 com resolução espacial de 30m
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
NASA - Imagem satelital do satélite Landsat 5 (NASA e o Brasil)
http://www.nasa.gov/imagens/landsat/

Figura 22 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Guriú (2007)

4.1.5 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 existente na bacia merecem destaque os seguintes: Araras, Jaibaras, Edson Queiroz e Forquilha, e onde 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 vegetação de mangue.

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

A representação dos valores observados de áreas (ha) está representada na Tabela 8, e 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.

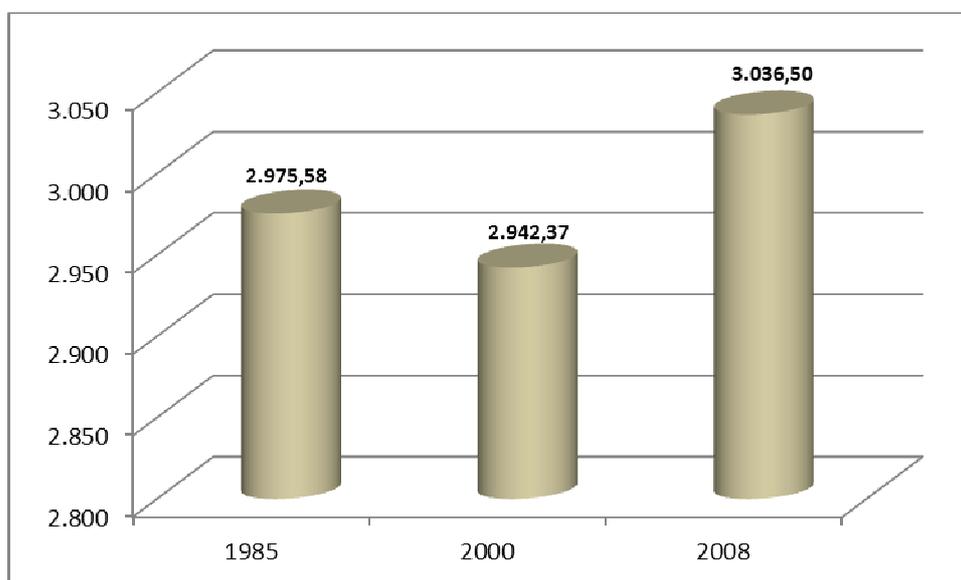
Tabela 8 - Quantificação das classes de bosques de mangues no rio Acaraú.

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

Fonte: Thiers (2012)

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 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 23, que apresenta o gráfico com o quantitativo das áreas colonizadas por bosques de mangue no estuário do rio Acaraú.

**Figura 23 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Acaraú.**

Fonte: Thiers (2012)

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 24, 25 e 26, produzidas pelo método de classificação orientada a

objetos, serão utilizados para avaliações das dinâmicas espaciais dos bosques de mangues do Estuário do rio Acaraú.

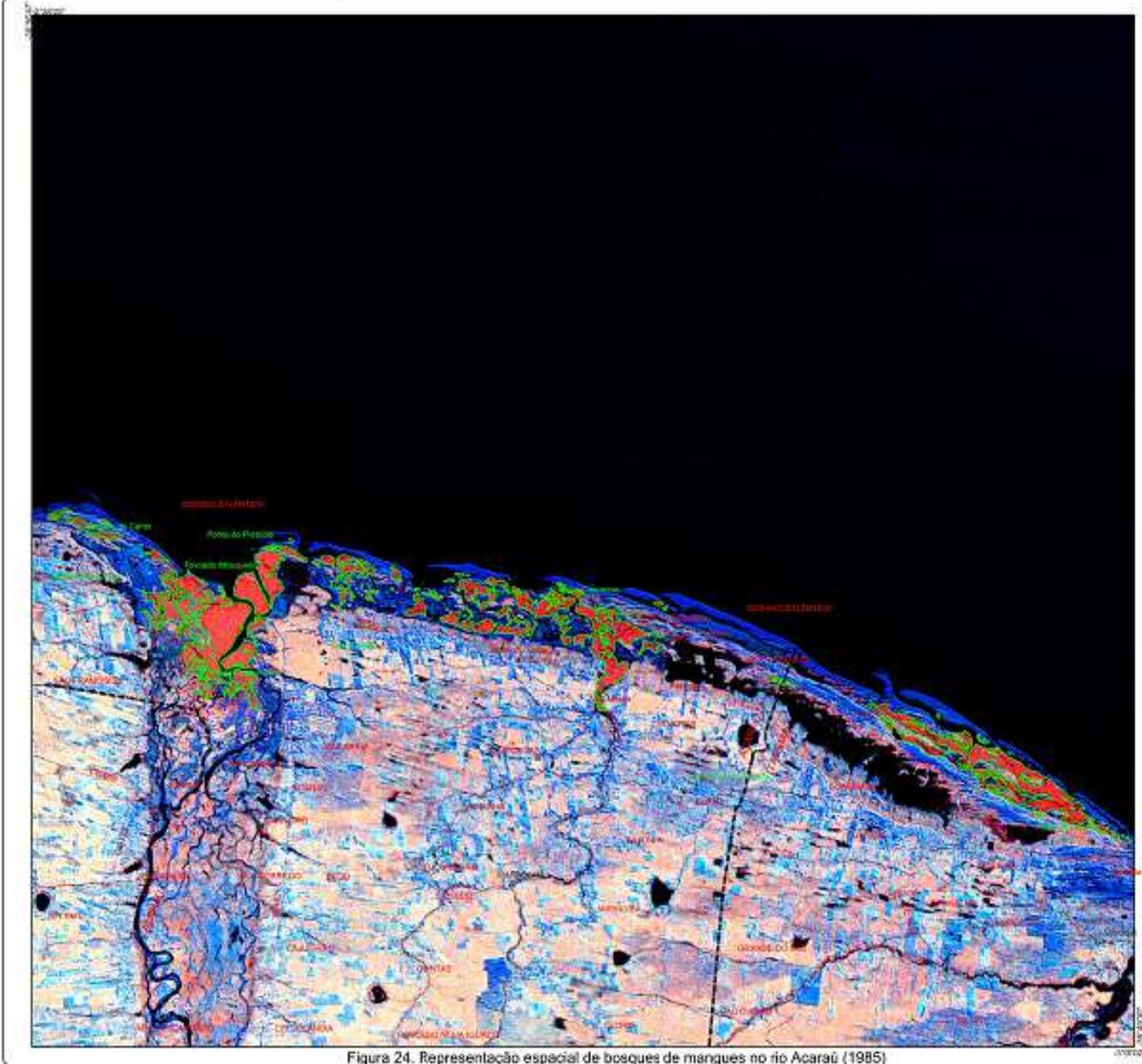


Figura 24. Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (1985)

Fonte: THIERS (2012)

LOCALIZAÇÃO

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Manágrio de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/96

NOTA: Coordenadas 1:20.000, datum vertical geodésico 2011, 1:50.000 horizontal em 1985.
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
Imagem de sensor TM do satélite LANDSAT 5, com resolução espacial de 30m.
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
NADA (Seguir as regras para administração nacional de Autorização e do Espaço)
<http://www.ipece.ce.gov.br/ipece/index.php>

Figura 24 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (1985)

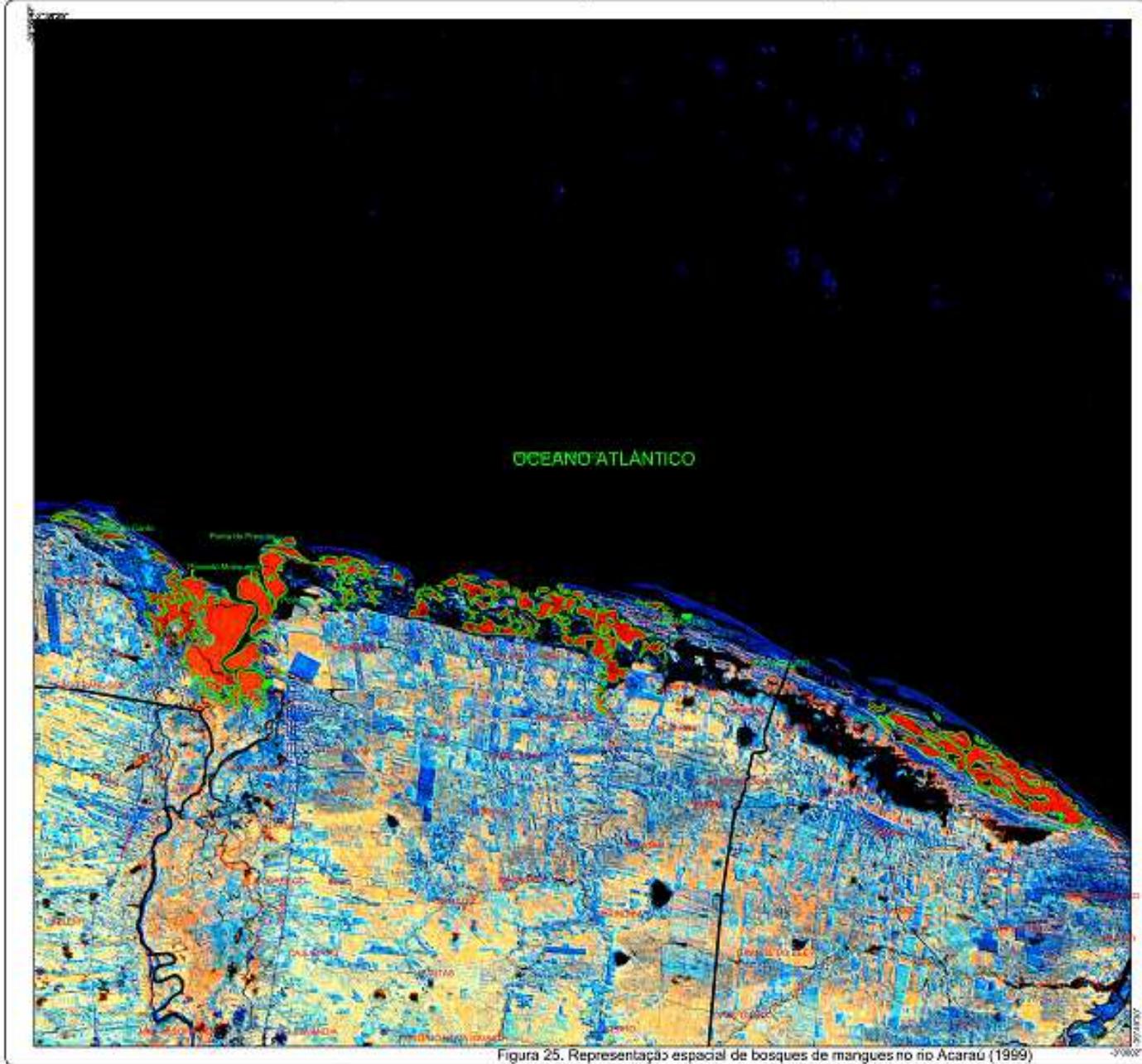
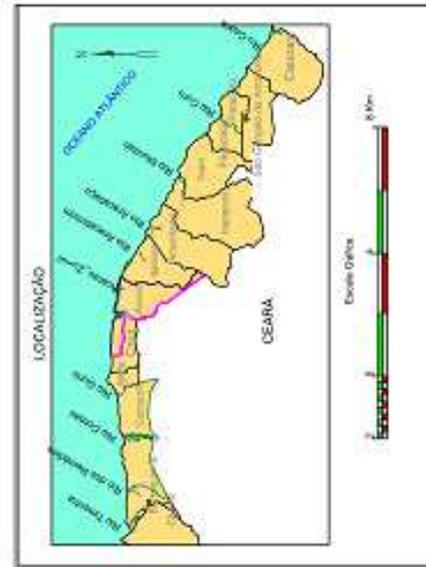


Figura 25. Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (1999)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Vertical - Marégrafo de Imbuí/RSB
 Datum Horizontal - SAD 69/56

FONTE:
 Orthofotomapa 1:20.000 com resolução geográfica 2m
 Levantamento aerofotogramétrico 1:20.000 realizado em 2007
 INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CEARÁ - IPCE
 Imagem de sensor TM de satélites LANDSAT-5 com resolução geográfica 30m
 INSTITUTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CEARÁ - IPCE
 MASA (Sóla em inglês em Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço)
<http://www.masa.gov.br/masa/>

Figura 25 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (1998)

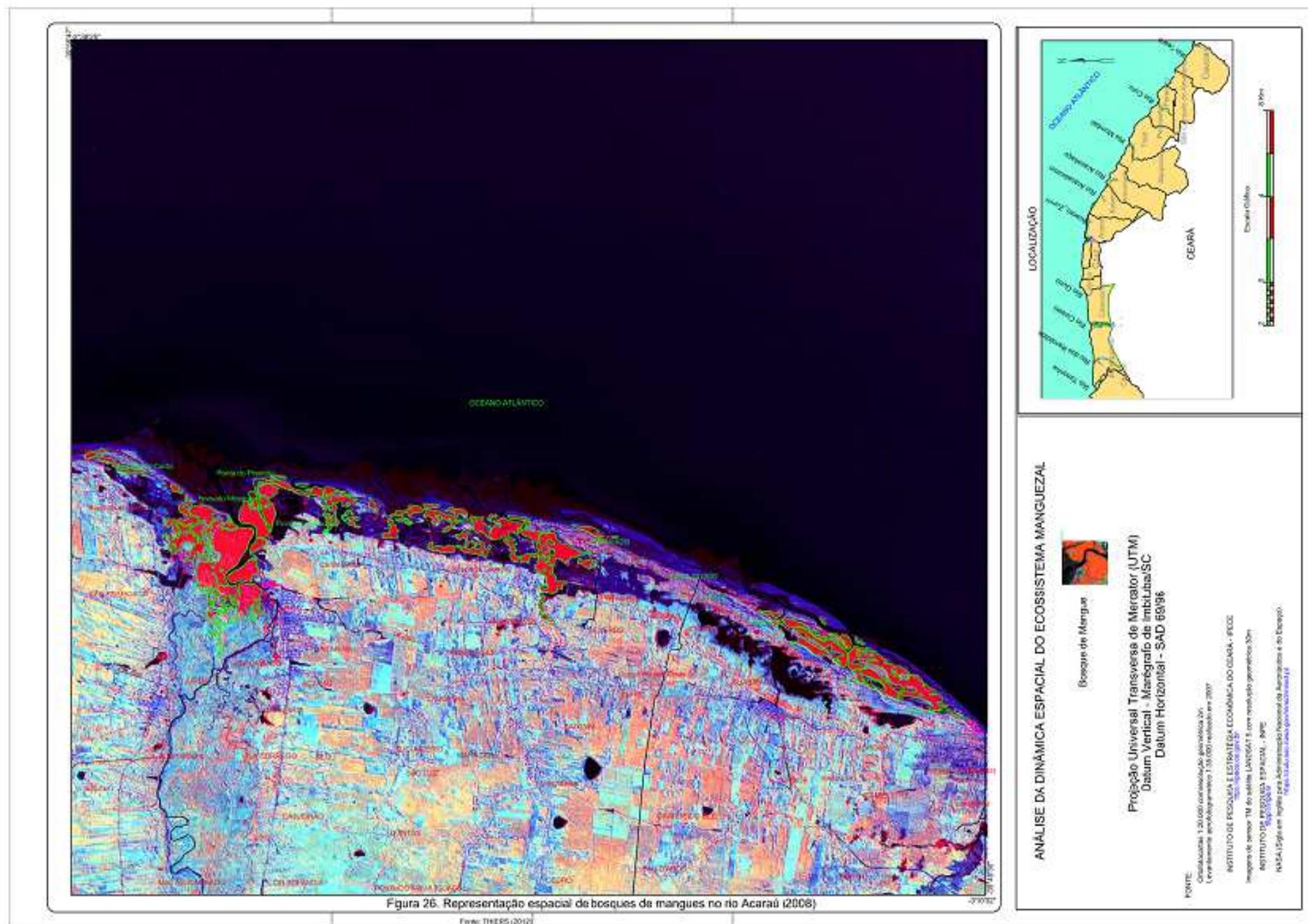


Figura 26 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (2007)

4.1.6 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°58'38"S e longitude 39°48'59"WGr. Na foz do rio Aracatimirim, a localidade de pescadores Torrões entra no cenário turístico devido a 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 (2012)

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 27 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.

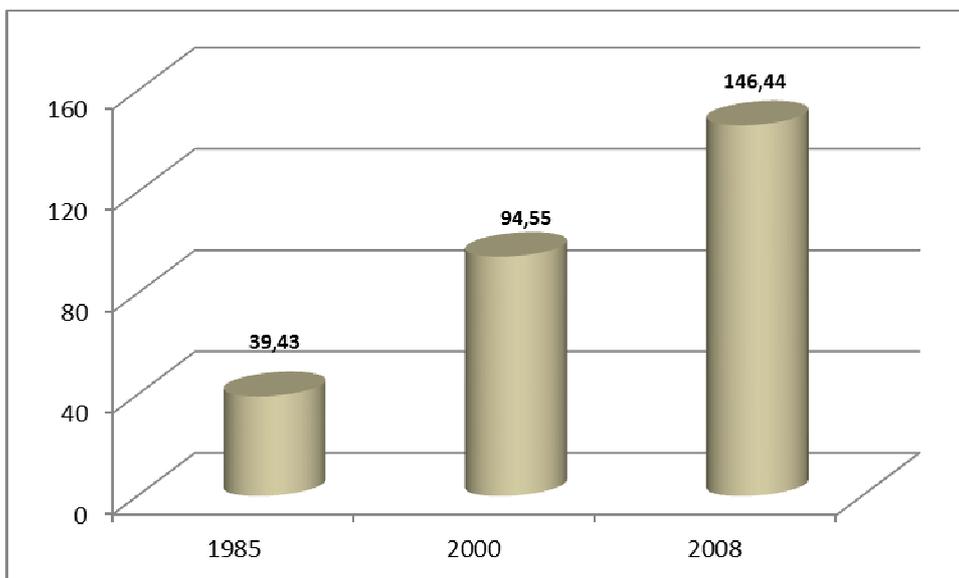


Figura 27 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Aracatimirim.

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 salinera, 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 salinera, 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 28 a 30, e foram produzidas pelo método de classificação orientada a objetos, e 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.

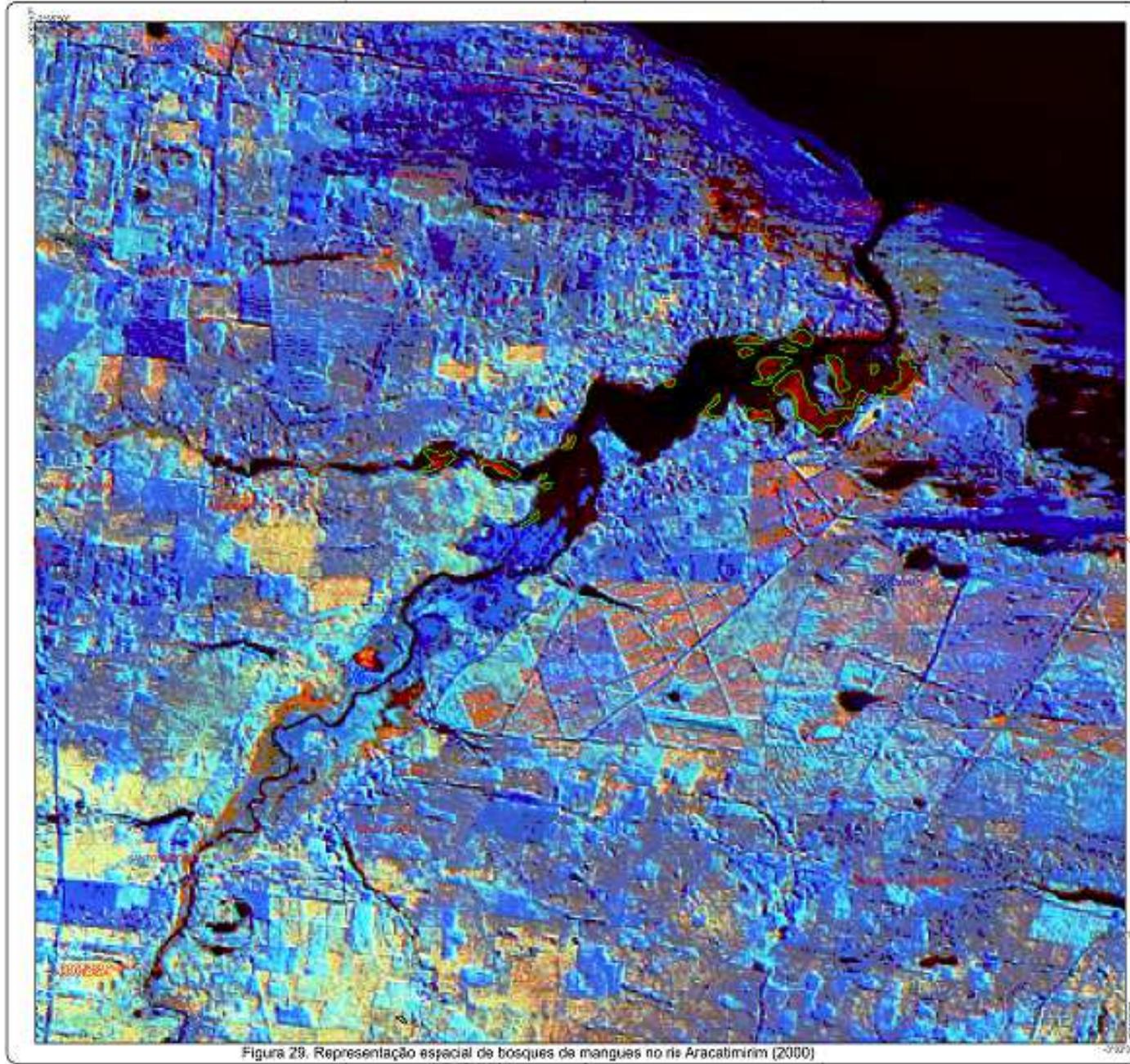
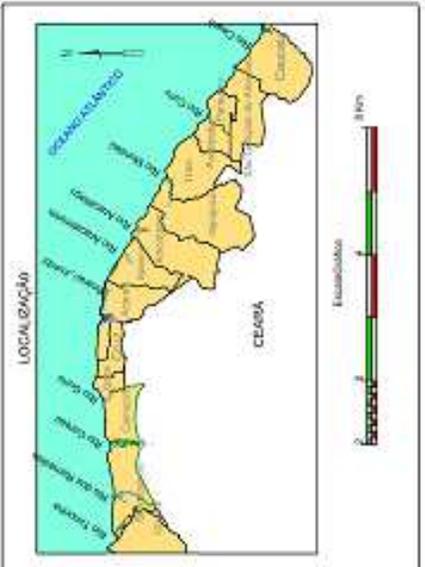


Figura 28. Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatimirim (2000)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Inhúas/SC
Datum Horizontal - SAD 61/96

FONTE:
 Coordenadas: 1:20.000 com projeção geográfica 2^a
 Levantamento aerofotogramétrico 038.000 realizado em 2007
 INSTITUTO DE PESQUISA E ESTIMATIVA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
 Imagens de satélite (Terra satellite LANDSAT) à partir de estação georreferenciada 2001
 INSTITUTO DE PESQUISA E ESTIMATIVA ECONÔMICA - IPECE
 IMGA-Digital em apoio para Administração Nacional de Aeronáutica e do Espaço
<http://www.inpe.gov.br/imagens.html>

Figura 29 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatimirim (1999)

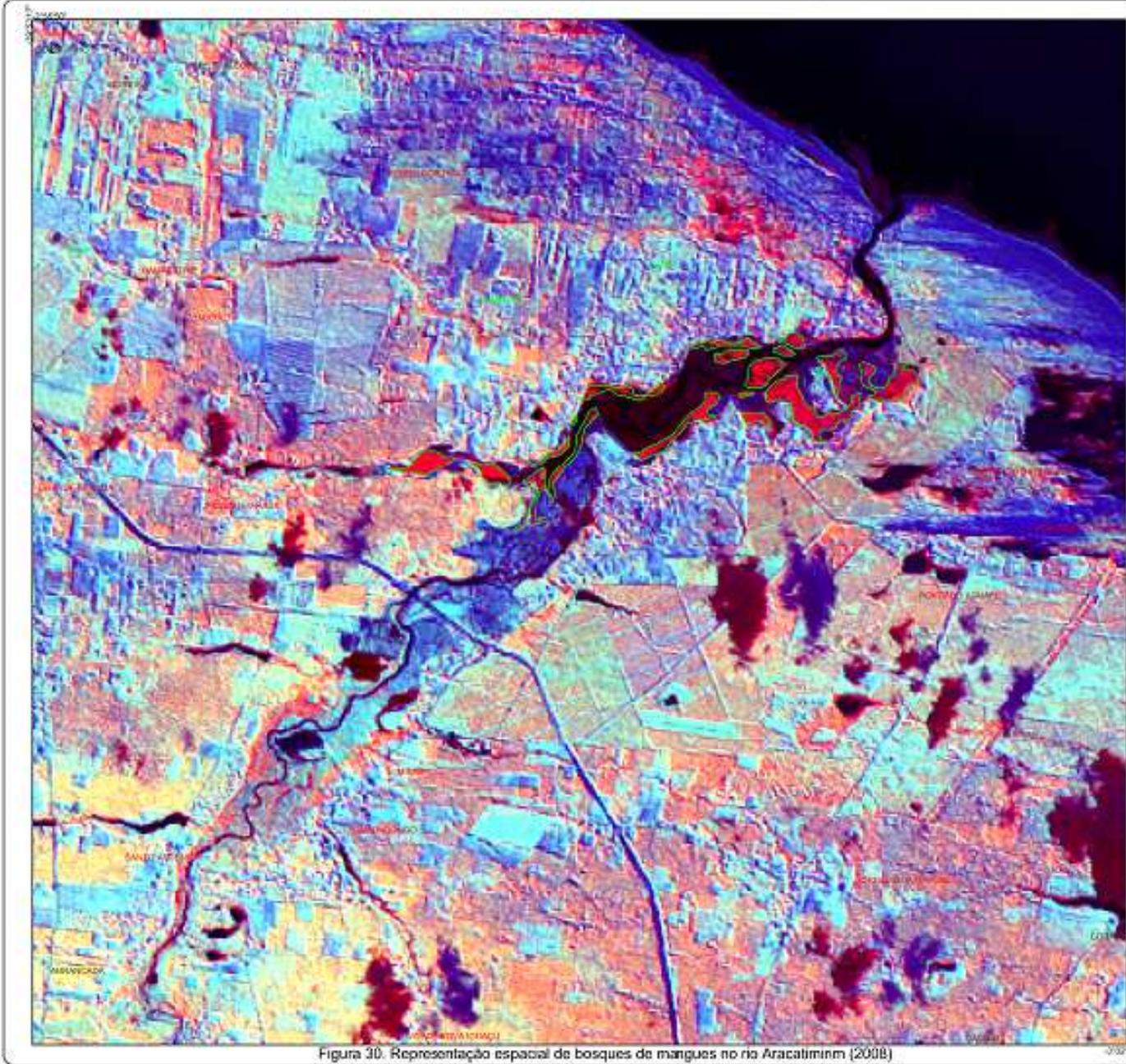
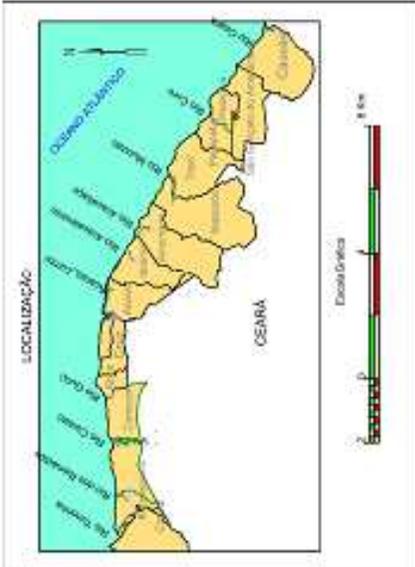


Figura 30. Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatimirim (2008)

Fonte: THIERS (2013)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosques de Mangues

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marígrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 83/96

FONTE:
 - Coordenadas: UTM (2008) com Datum Universal Transversa de Mercator
 - Escala: 1:20.000 (redução em 1:20.000)
 - INSTITUTO DE PESQUISA E EXTENSÃO TECNOLÓGICA DO CEARÁ - IPOCE
 - Imagens do sensor 1N do satélite LANDSAT 5 com resolução geométrica 30m
 - INSTITUTO DE PESQUISA ESPACIAL - INPE
 - NASA - (Site em inglês) - Administração Municipal de Bussanduba e em Ceará
 - <http://www.nasa.gov/imagery/>

Figura 30 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatimirim (2007)

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

A foz do rio Aracatiaçu localiza-se no limite intermunicipal entre os municípios de Itarema e Amontada, no Estado do Ceará, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude 3°01'23"S e longitude 39°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, e apresentando características de drenagem intermitente.

Para Gonçalves e Nogueira (2012), com vistas a 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, “[...] 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, e corresponde às classes de bosques de mangues do estuário do rio Aracatiaçu, e referem-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 (2012)

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 31 apresenta graficamente a evolução quantitativa das áreas de bosques de mangue no estuário do rio Aracatiaçu nos períodos observados:

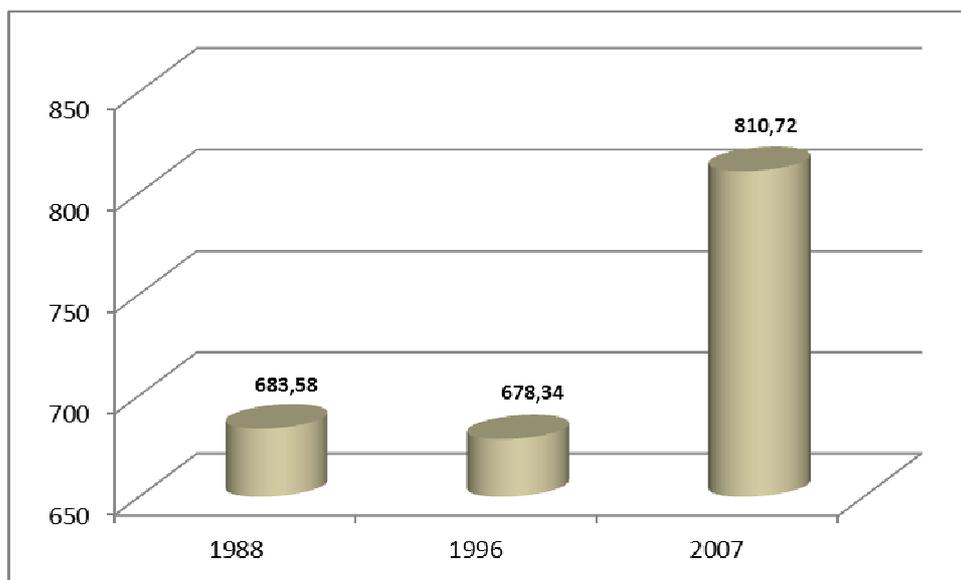


Figura 31 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Aracatiaçu.

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 32 a 34, e 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.

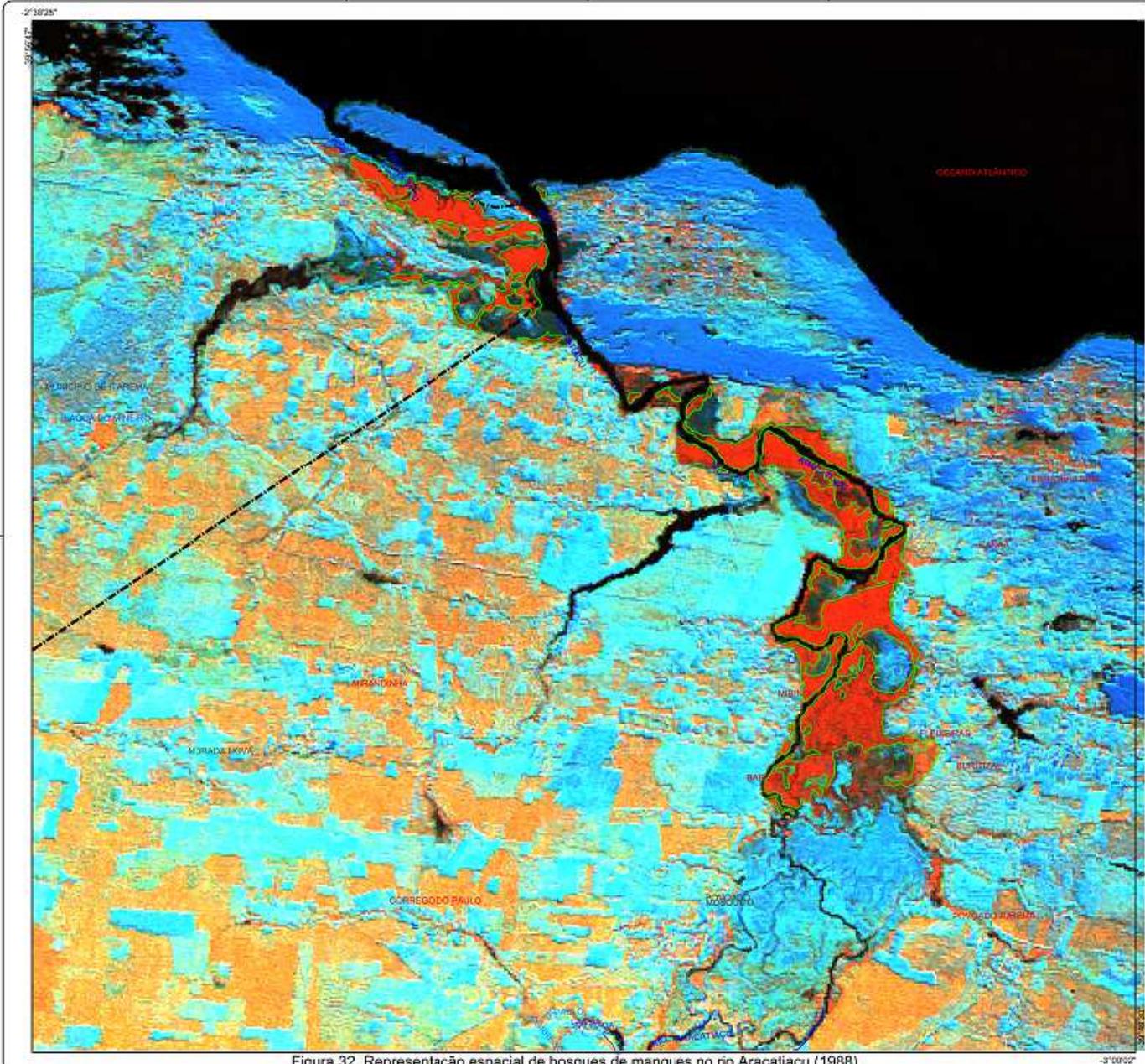
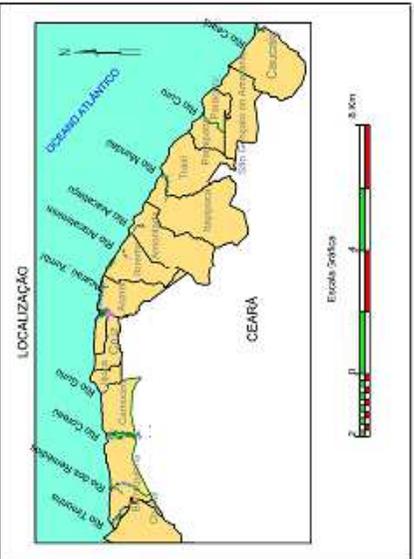


Figura 32. Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiaçu (1988)

Fonte: THERS (2012)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
 Datum Horizontal - SAD 68/96

FONTE:
 Imagens de satélite TM do satélite LANDSAT 5 com resolução geométrica 30m
 Levantamento aerofotogramétrico 1:25.000 realizado em 2007
 INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
 http://ipece.ce.gov.br
 Imagens do sensor TM do satélite LANDSAT 5 com resolução geométrica 30m
 INSTITUTO DE PESQUISA ESPACIAL - IMPE
 http://impe.br/pt-br/
 NASA. (Siga em inglês) <http://satellite.globe.gov/imagery/>

Figura 32 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiaçu (1991)

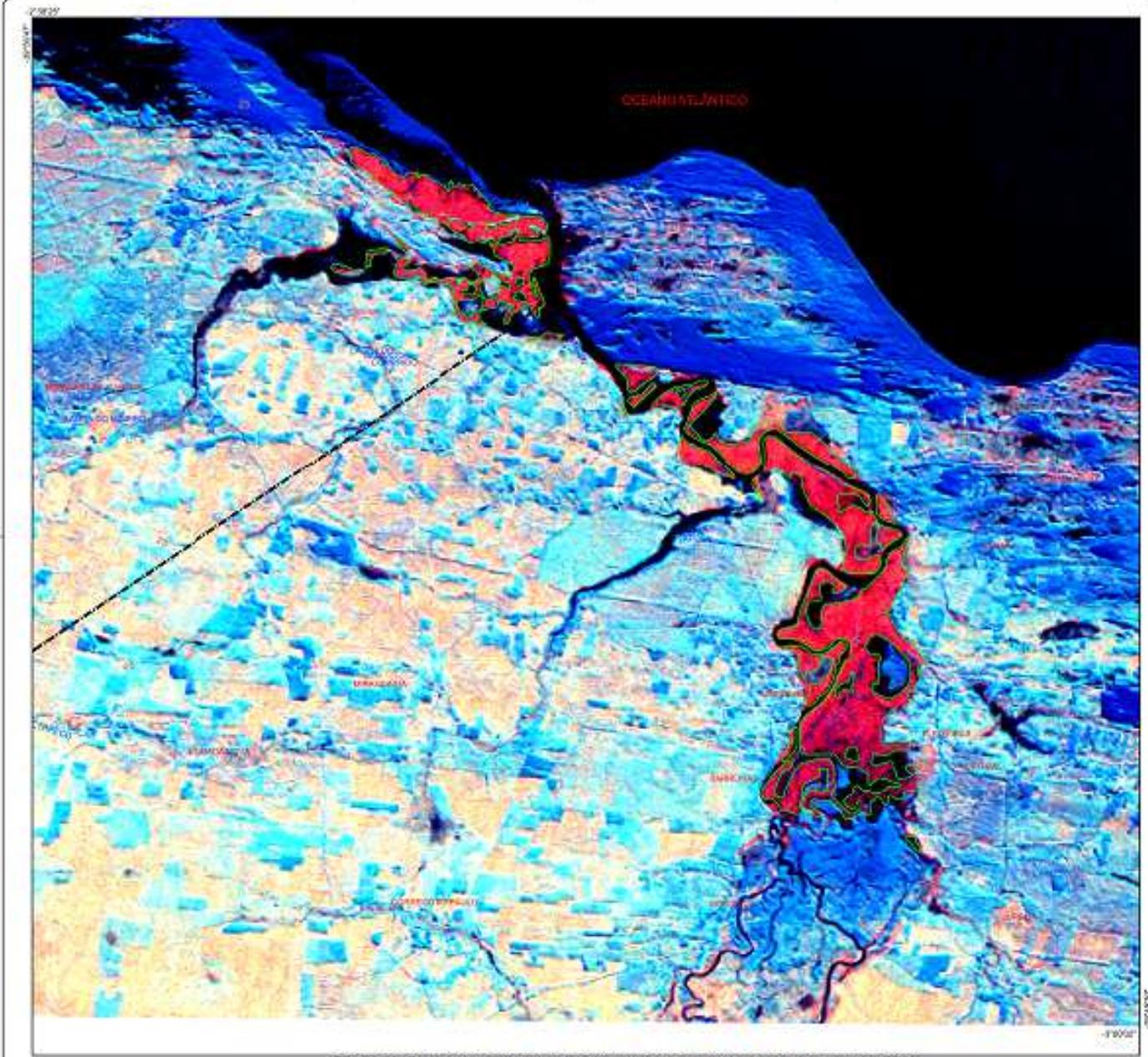
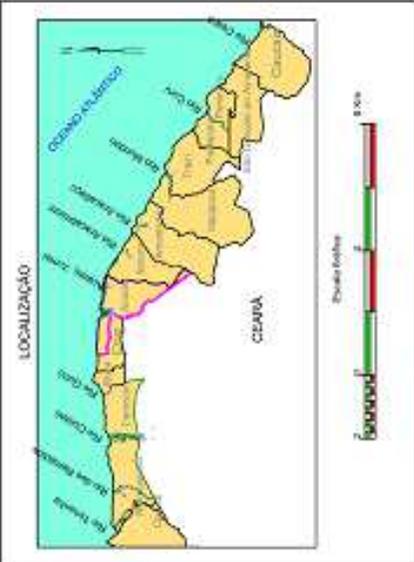


Figura 33. Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiaçu (1996)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/66

FONTE:
 Instituto de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
 Levantamento aerofotogramétrico 1:50.000 realizado em 2007
 INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
 Programa de Sensor TM de satélites LANDSAT 5 com resolução espacial de 30m
 INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
 Modificação original para a localização Marégrafo de Imbituba/SC e UTM
<http://www.ipece.ce.gov.br/ipece/ipece0207.htm>

Figura 33 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiaçu (1996)

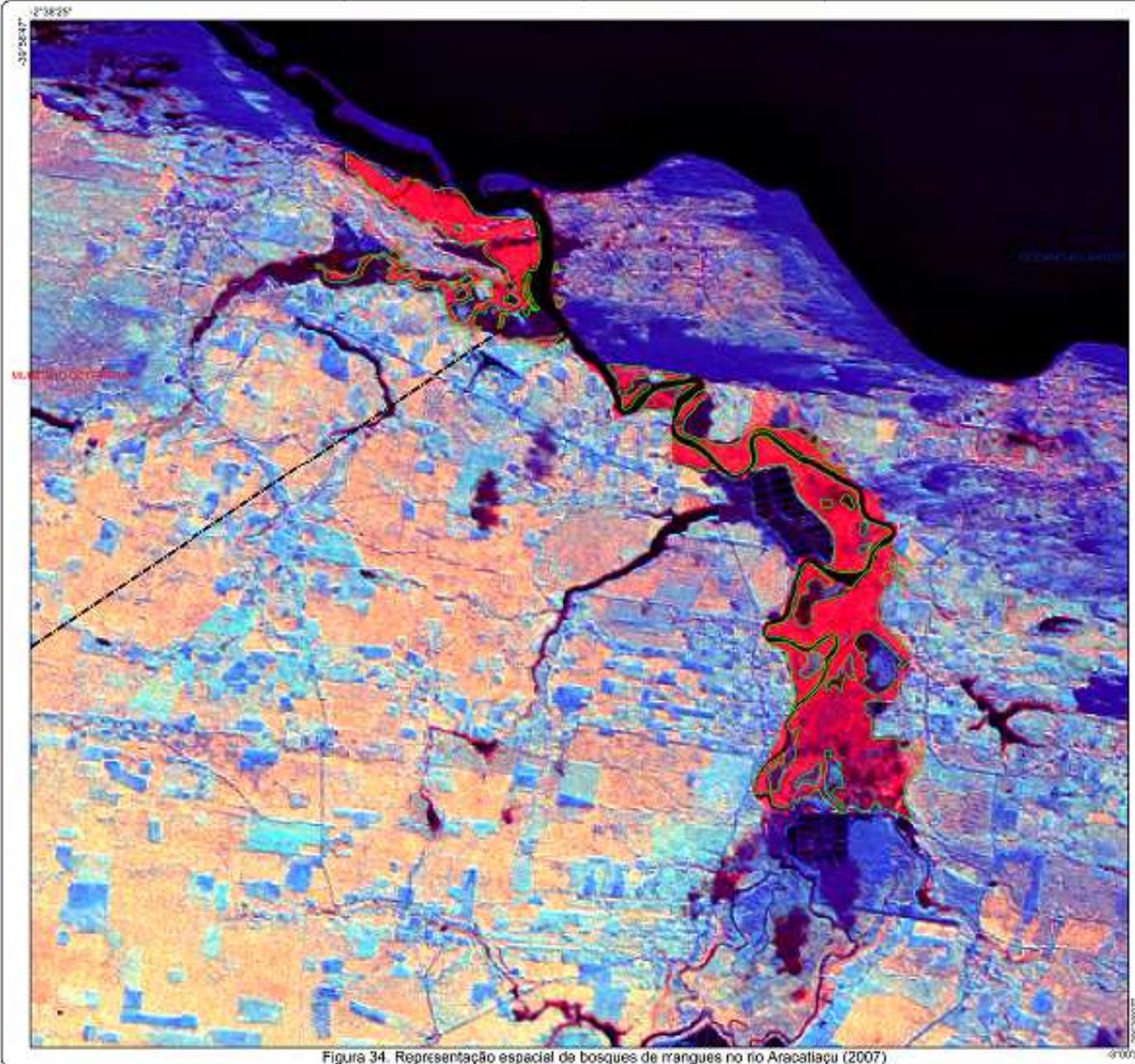
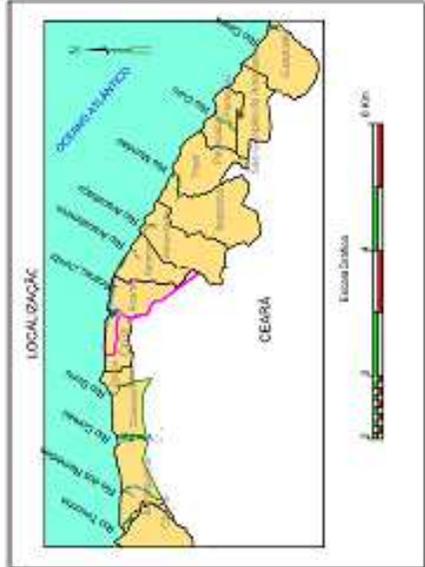


Figura 34. Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiçu (2007)

Fonte: THIERS (2012)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Horizontal - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Vertical - SAD 69/96

FONTE:
 Classificação: 1:200000, escala acadêmica 2/4
 Lançamento: setembro/primavera 1:30.000, escala em 2/4
 INSTITUTO DE PESQUISA E ESTADÍSTICA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
 Imagens do sensor "Módulo de Imagens LANCELOT" 3, com resolução: 60 metros por pixel
 INSTITUTO DE PESQUISA ESPACIAL - IAPCE
 Nota: Copia corrigida com Autorização Nacional do Ministério do Meio Ambiente do Brasil
 Apoio: CNPq, FAPESP, FINEC, FINEC/PRONEX

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

O estuário do Rio Mundaú está localizado no Município de Trairí e banha o limite intermunicipal entre Itapipoca e Trairí, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude 3°11'38"S e longitude 39°24'10"WGr, distante 165 km de Fortaleza e a 14km da sede do município de Trairí. Sua nascente é na serra de Uruburetama e banha os municípios de Tururu, Trairí 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 U.C's 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." (SEMACE, 2012).

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 (2012)

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 da vegetação. Já no período de 1996 a 2007 houve certa estagnação, com redução inferior a 1%, ou seja, pouco menos de 1 hectare (Figura 35).

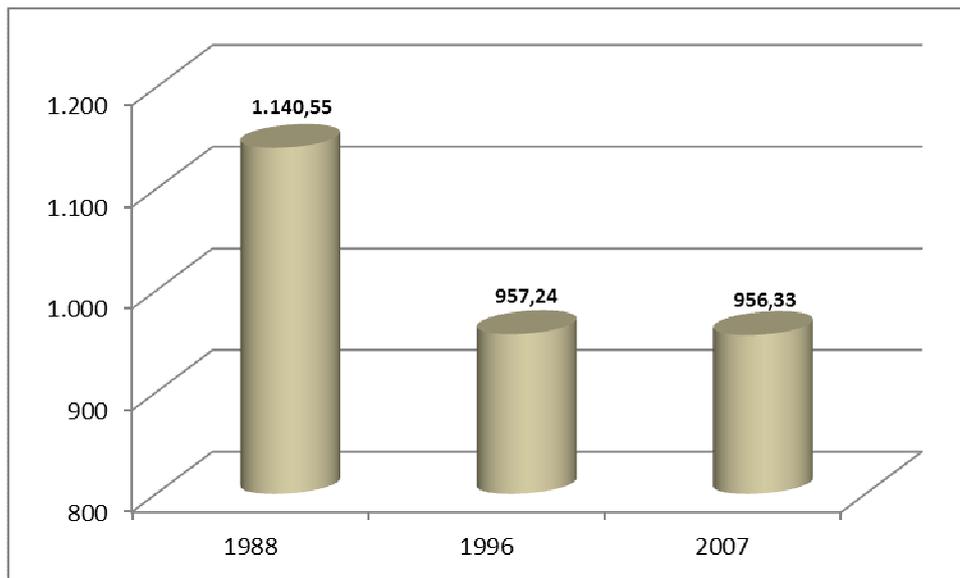


Figura 35 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Mundaú.

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.

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 36, 37 e 38).

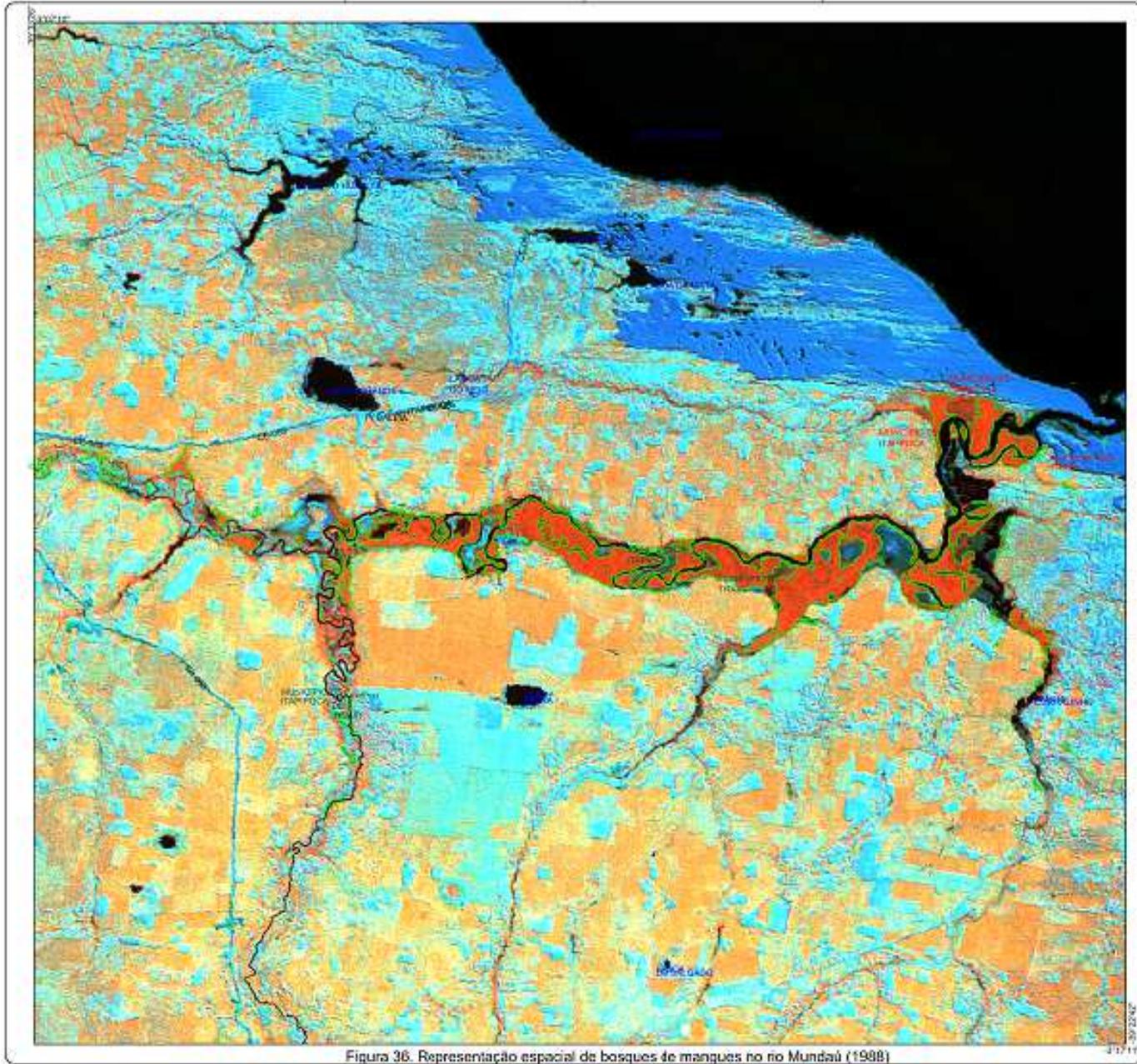


Figura 36. Representação espacial de bosques de mangues no rio Mundaú (1998)

[Fonte: THIERS (2002)]

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
 Datum Horizontal - SAD 69/86

FONTE:
 Orlamento em UTM 300 com reprojecção generalizada 2D
 Desenvolvido cartograficamente em 2007
 INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
 Instituto de Sensoriamento Remoto - IASR
 INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
 IPECE (2007) Projeto de Administração Municipal de Aracati/CE em parceria com o IASR

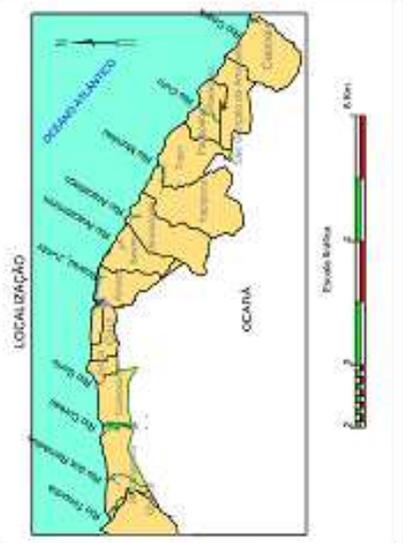


Figura 36 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Mundaú (1991)

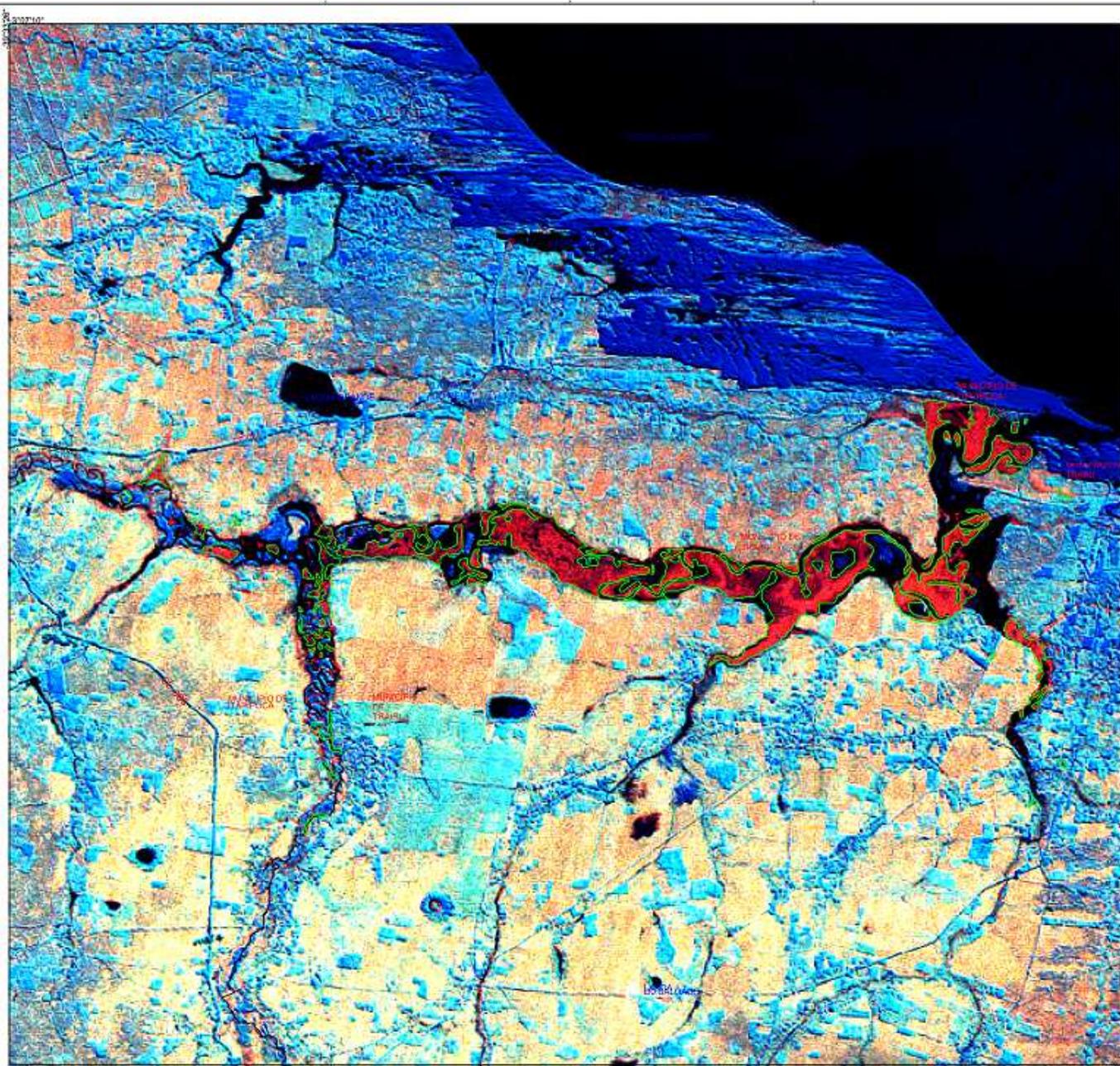
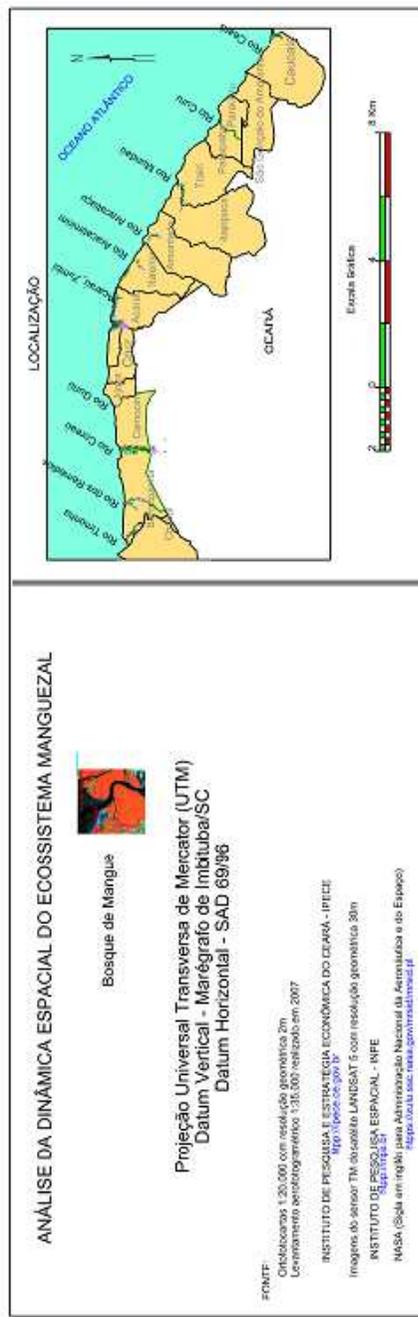


Figura 37. Representação espacial de bosques de mangues no rio Mundaú (1996)

Fonte: THIERS (2012)



4.1.9 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 Luis do Curu e São Gonçalo do Amarante, e sua foz banha o limite intermunicipal entre os municípios de Paraipaba e Paracuru, com posicionamento geográfico, aproximado, de latitude 3°24'35"S e longitude 39°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 km² (SOUZA *et al.*, 2005).

Encravado na região semi-árida, 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, por 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 Cenozóicas 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 representado 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 (2012)

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 39 demonstra graficamente o comportamento quantitativo das áreas de mangue no estuário do rio Curu.

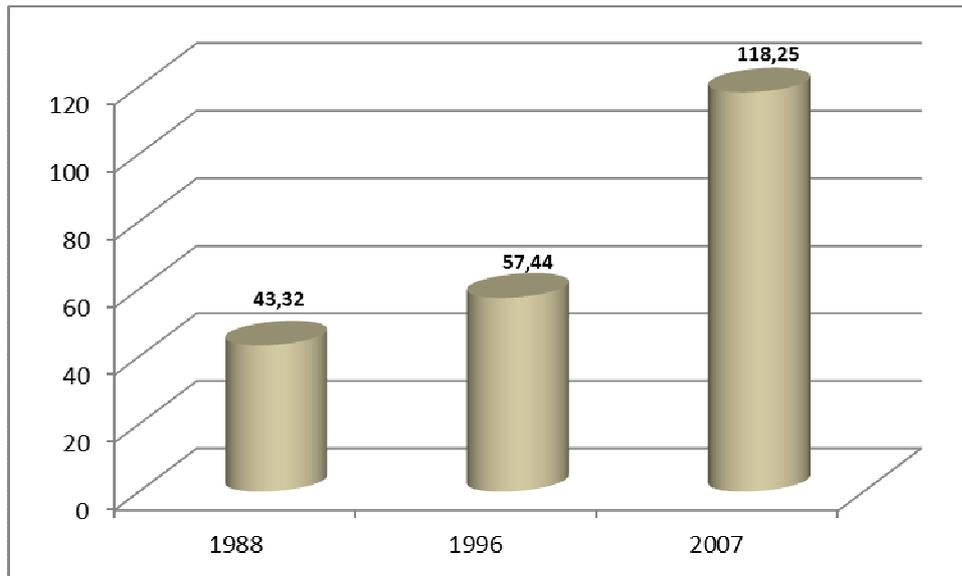


Figura 39 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Curu.

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 40 a 42, produzidas por método de classificação orientada a objetos.

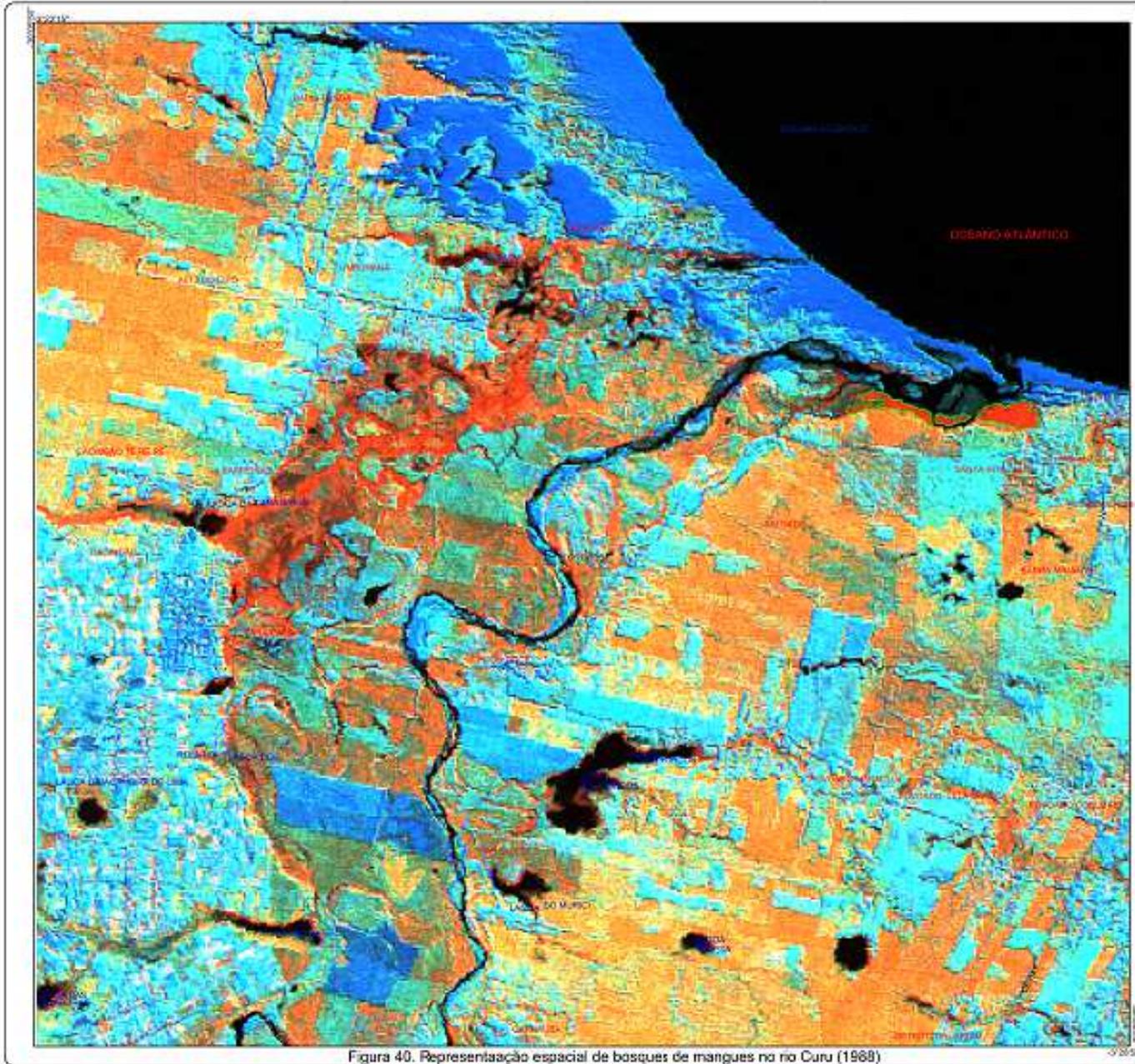
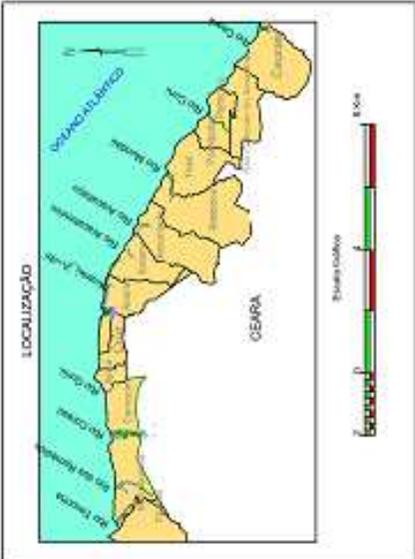


Figura 40. Representação espacial de bosques de mangues no rio Curu (1988)

Fonte: THERIOT (2012)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 68/SB

INURIC
Coordenadas: 120 000 (em projeção geográfica 2n)
Uso: Plano Cartográfico
Uso: Plano Cartográfico
Escala: 1:250 000 (revisado em 2007)
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia - LAGEC
BARRA (1988) em projeção Universal Transversa de Mercator e de Datum 68/SB
<http://www.ipece.ce.gov.br>

Figura 40 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Curu (1991)

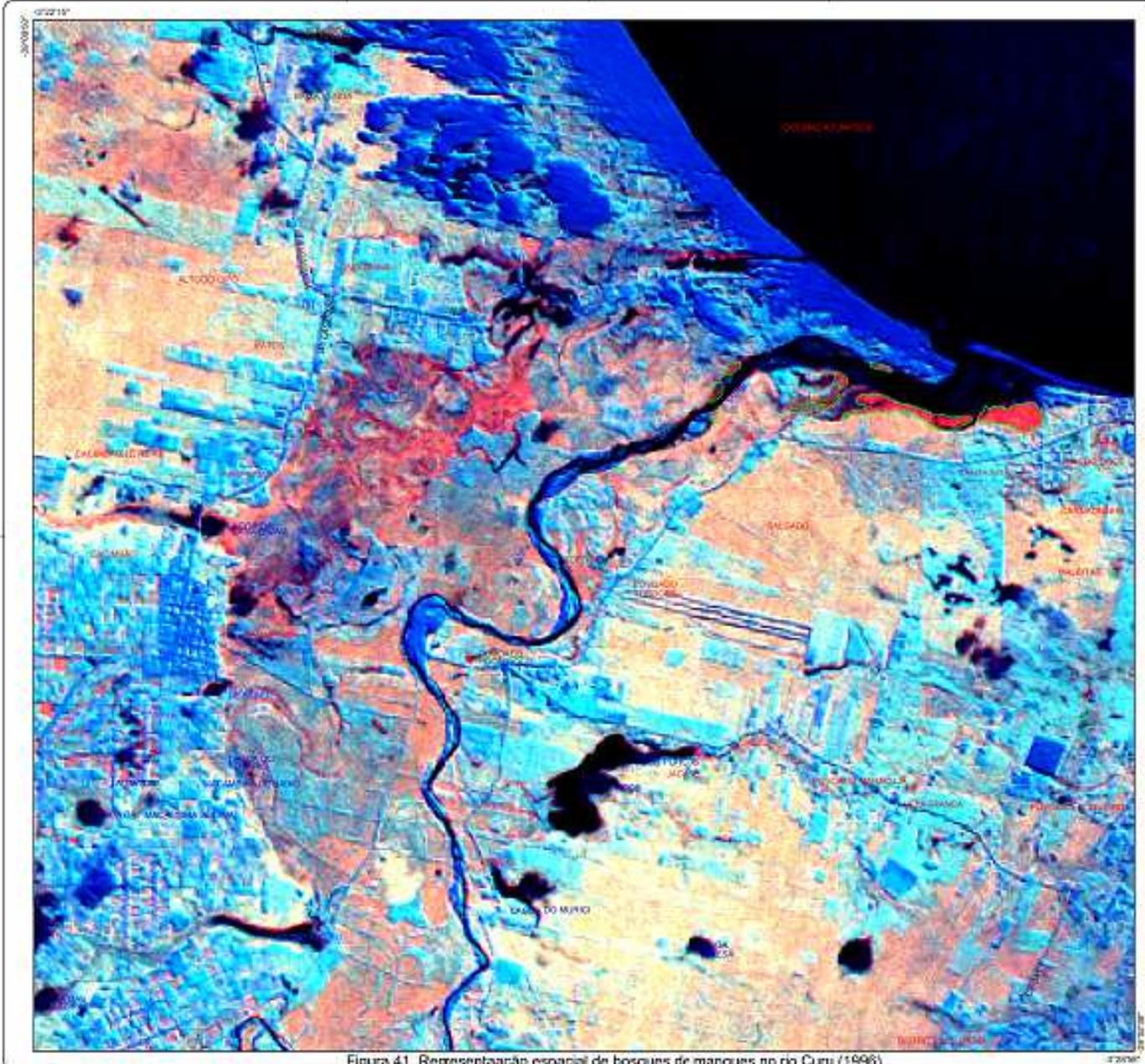


Figura 41. Representação espacial de bosques de mangues no rio Curu (1996)

Fonte: INEIS (2012)

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projecção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Meridiano de Inibituba/SC
Datum Horizontal - SAD 83/96

LOCALIZAÇÃO

Fonte: Gráfico

Fonte:
 - Dados: Inibituba, 1:20 000, com resolução geométrica de 2m.
 - Imagem: Imagem de satélite de 1:10 000, com resolução de 2m.
 - INSTITUTO DE PESQUISA E INVESTIGAÇÃO ECONÔMICA DO CEARÁ - IPEIC
 - Projeto de Sensor TM de satélite LANDSAT 5 com resolução geométrica 30m.
 - INSTITUTO DE PESQUISA E INVESTIGAÇÃO ECONÔMICA - IPEIC
 - MAPA INICIAL de Inibituba para Administração Municipal de Associação e Indústria.
 - <http://www.inibituba.ce.gov.br/portal/index.php>

Figura 41 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Curu (1996)

4.1.10 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 tem 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 há. Nos seus bosques de mangues destacam-se as espécies *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana*, *Avicennia germinans*, *Langunculária racemosa* e *Conocarpus erectus*, que são ambientes para sobrevivência de várias espécies de crustáceos, peixes e aves (SEMACE, 2012).

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, e 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.

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 (2012)

Dentre os períodos analisados, o maior crescimento ocorreu entre 1996 e 2007, onde foram incorporados mais de 250 hectares de vegetação de mangue. 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 43 expressa a evolução quantitativa das áreas de mangue no estuário do rio Ceará para os anos de 1988, 1996 e 2007.

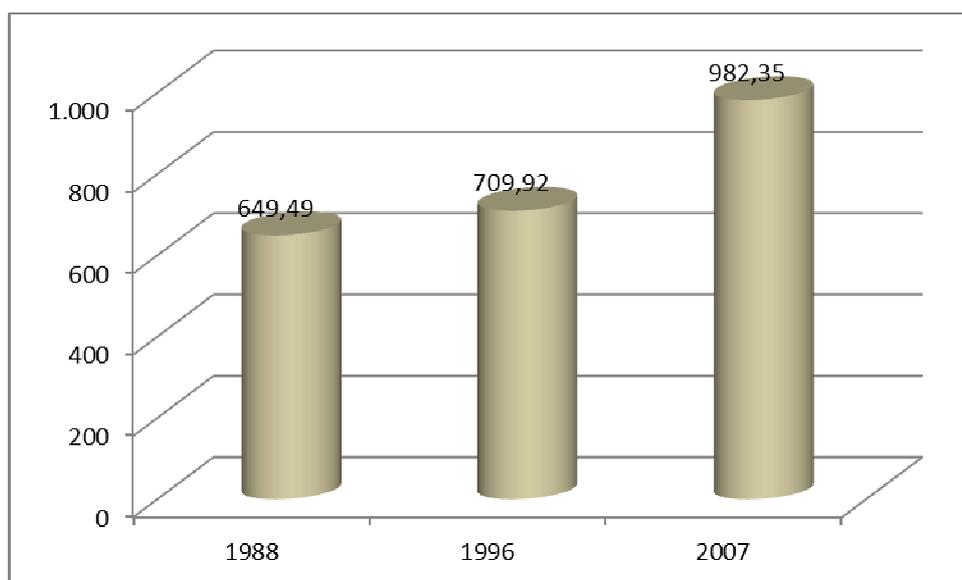


Figura 43 - Gráfico da evolução espacial das áreas de mangue no estuário do rio Ceará.

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.

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, constituído por 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 44 a 46.

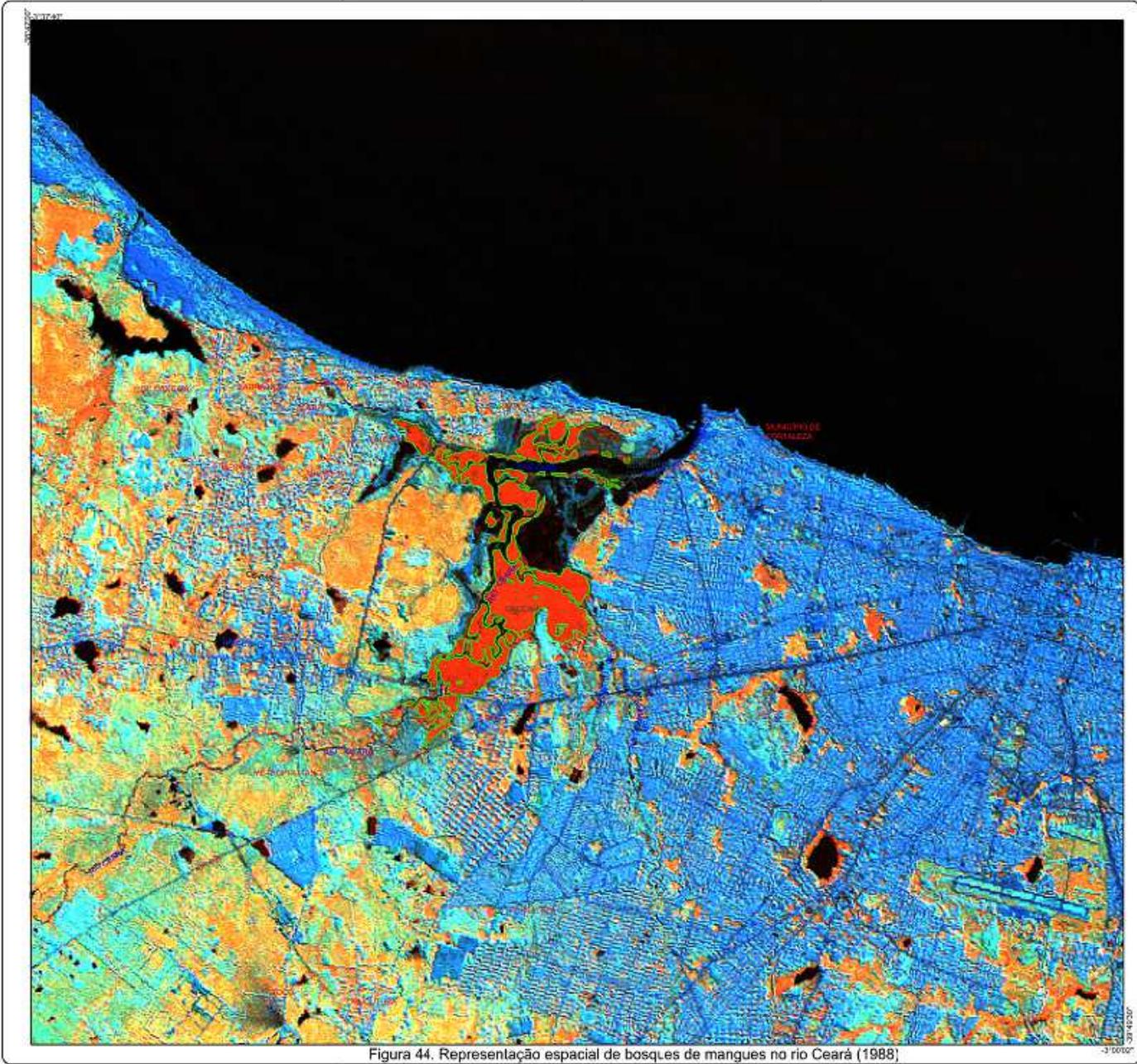


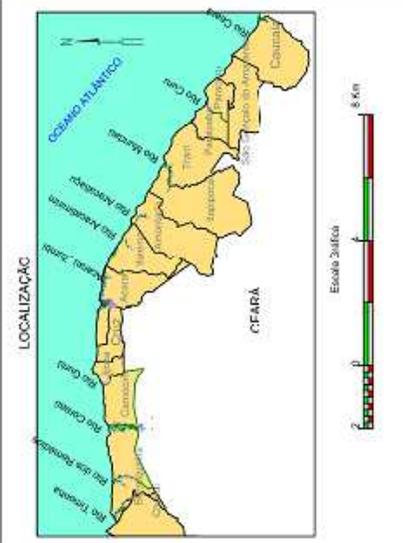
Figura 44. Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará (1988)

Fonte: THERS (2012).

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/36



FONTE:
 Densificadas 1:20.000 com resolução geométrica 2m
 Levantamento aerofotogramétrico 1:30.000 realizado em 2007
 Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE
 Imagem de sensor TM de satélite LANDSAT 5 com resolução geométrica 30m
 Instituto de Pesquisa Espacial - IPEE
 INASA (Siga em inglês para Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço)
<http://www.usgs.gov/imagery/>

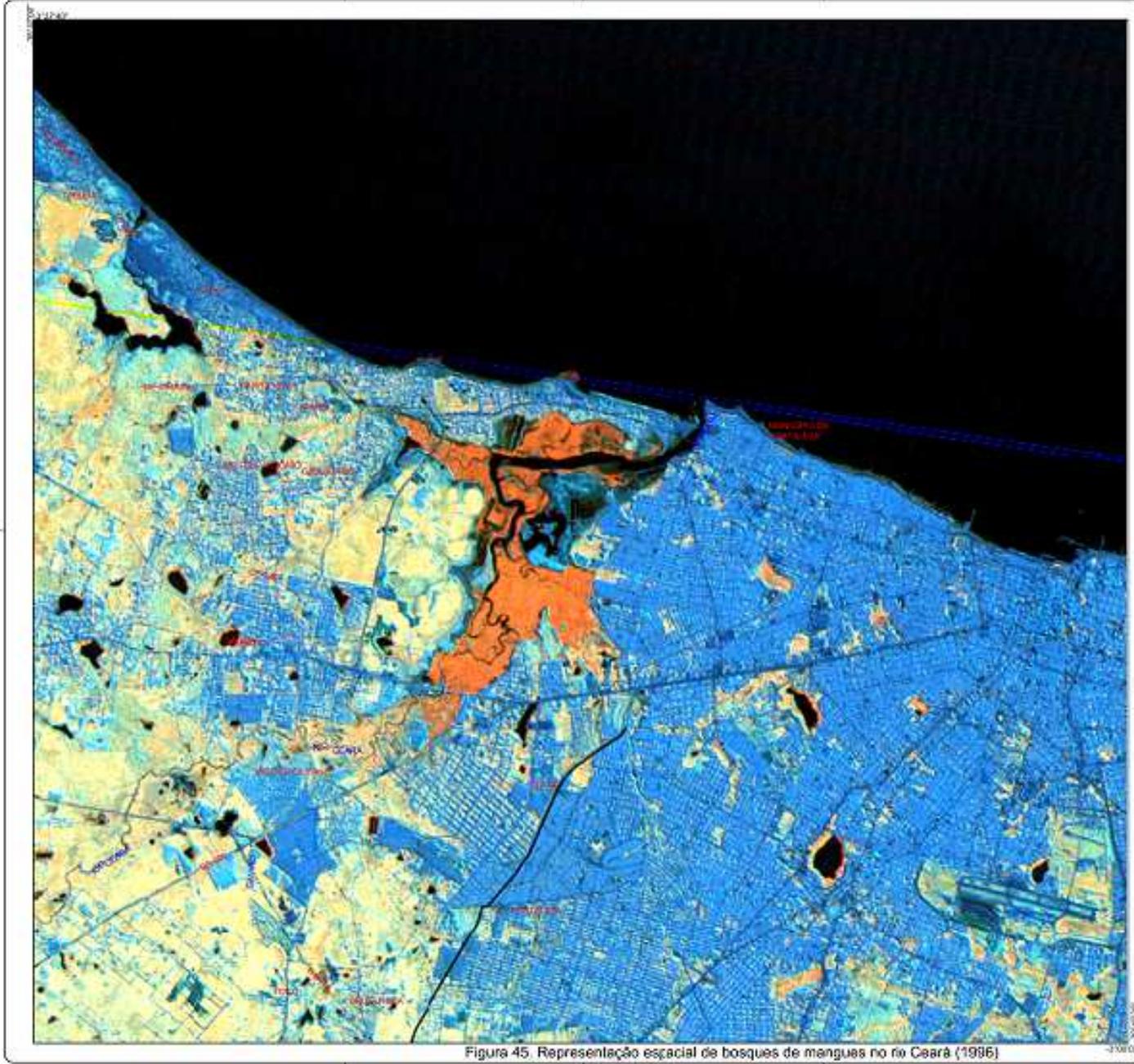


Figura 45. Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará (1998)

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Manágato de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/36

FONTE:
Escala: 1:25.000 com resolução geométrica 2m
Levantamento aerofotogramétrico 1:50.000 realizado em 2007
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
Programa de Sensoriamento Remoto em Satélites - PROSAR
INSTITUTO DE PESQUISA E PRÁTICA - IPEP
NAUJA. Acesso em: 10/01/2010. <http://nauja.cear.gov.br/nauja/>

LOCALIZAÇÃO

Figura 45 - Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará (1998)

5 ANÁLISES DE RESULTADOS DA INVESTIGAÇÃO E DISCUSSÕES COM TRABALHOS CORRELATOS

A abordagem na avaliação da dinâmica dos bosques de mangues, neste projeto 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. Entretanto, outros dois objetivos levaram em consideração a evolução da dinâmica espacial com referência a cada estuário, em três períodos distintos e ao largo de 23 anos. 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 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 possíveis causas teriam responsabilidades sobre 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.

5.1 Validação da qualidade geométrica da classificação quantitativa

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 verificada, 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, vista 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/Zumbí (Tabela 14).

A justificativa para as diferenças entre os resultados obtidos para os produtos com resoluções distintas são explicados por 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 de que o estuário dos rios Timonha e Ubatuba não possui 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.

Tabela 14 - Valores obtidos na pesquisa por classificação orientada a objeto (THIERS, 2012)

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 (2012)

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

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 47 a 55.

Informe-se que para os estuários dos rios Timonha e Ubatuba não foram quantificadas as suas áreas, vista que não há ortofotos que recubram toda a superfície abrangida pelos estuários. O recobrimento aerofotogramétrico foi realizado, apenas, para o Estado do Ceará.

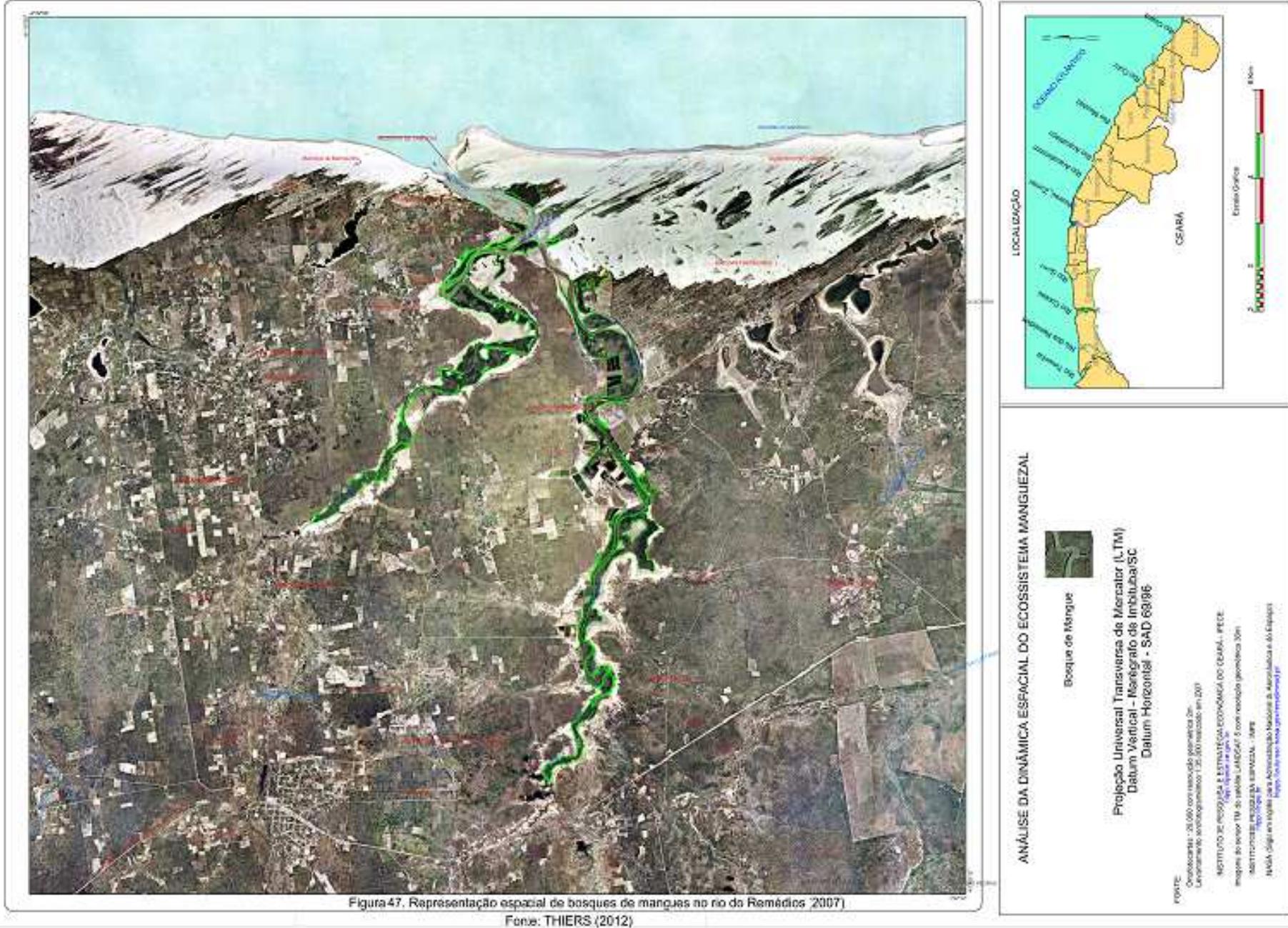


Figura 47 – Representação espacial de bosques de mangues no rio dos Remédios

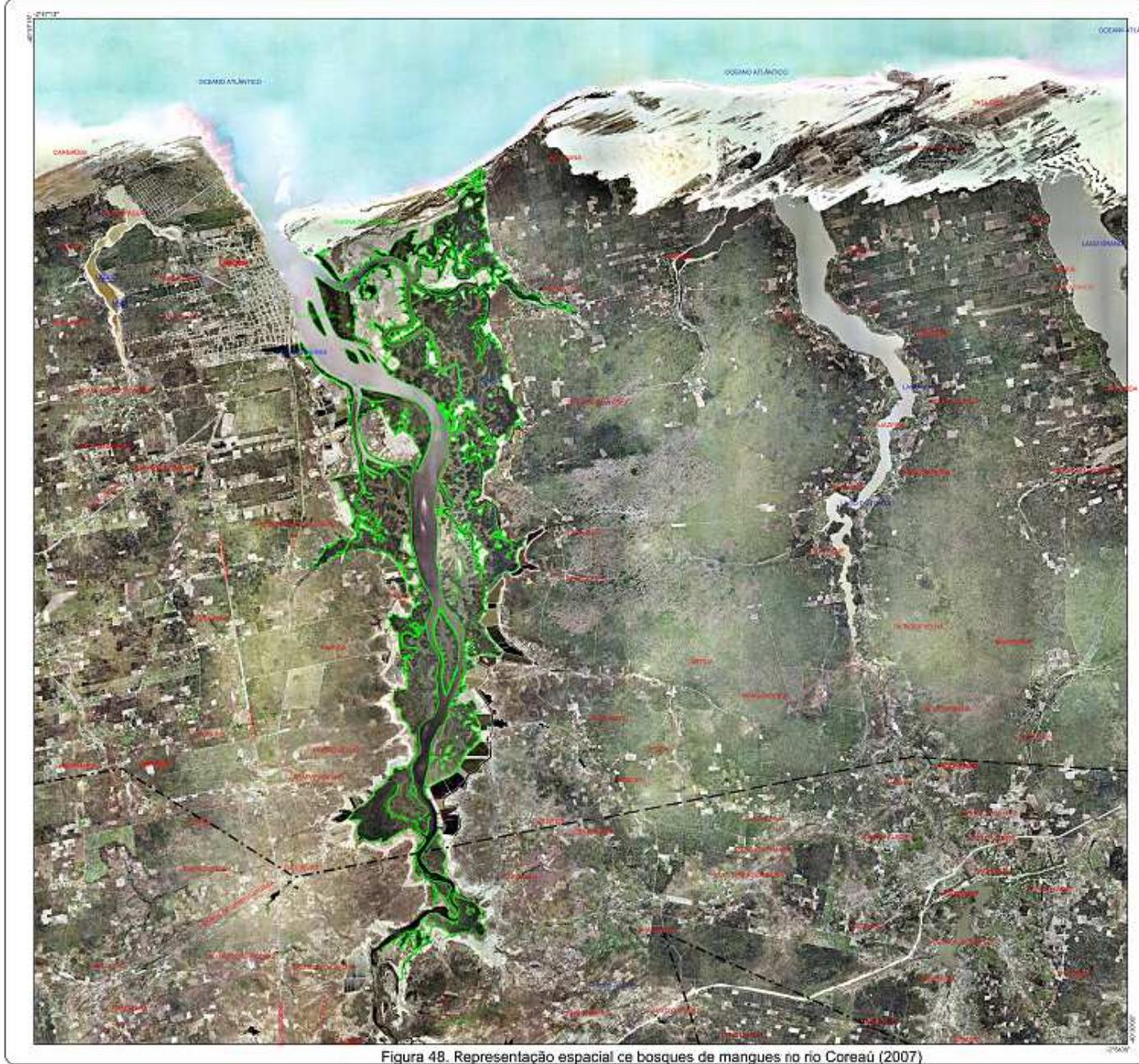
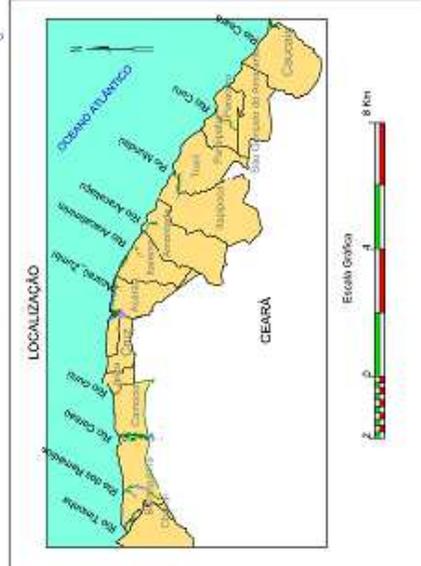


Figura 48. Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Coreáú (2007)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/96

FONTE
Ortofotocenas 1:20.000 com resolução geométrica 2m
Lançamento aerofotogramétrico: 7/20.000 realizado em 2007
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
<http://ipece.ce.gov.br>
Imagens de sensor TM do satélite LANDSAT 5 com resolução geométrica 30m
INSTITUTO DE PESQUISA ESPACIAL - INPE
<http://inpe.br>
MOSAIC (Siga em inglês para Administração Nacional de Aeronáutica e do Espaço):
<http://sat.sirius.com.br/mosaic.html>

Figura 48 – Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Coreáú

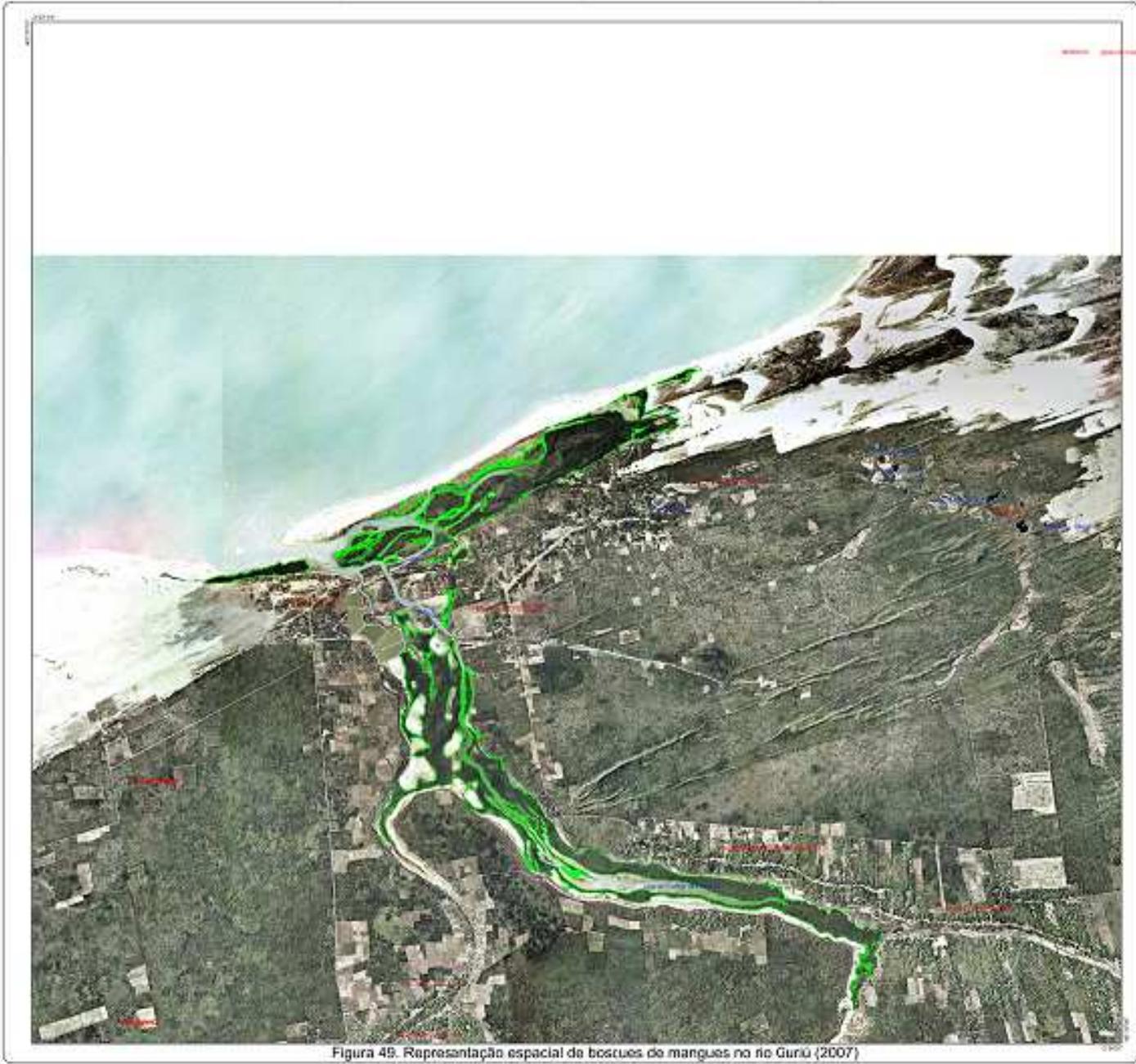


Figura 49. Representação espacial de bosques de mangues no rio Gurui (2007)

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSSISTEMA MANGUEZAL

Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/96

LOCALIZAÇÃO

Fonte: Ombre

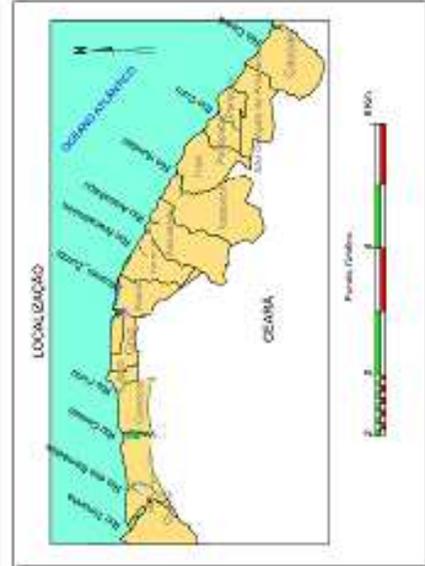
0 2 4 6 Km

NOTAS
 Otimização: 1:20.000 com resolução geométrica 2m
 Limitações: amarelo/vermelho 1:15.000, reclassificado em 2007
 INSTITUTO DE PESQUISA E APLICADA ECOLÓGICA DO NOROESTE - IPEN
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPG-AM
 INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - ICT
 NUNO, P. (2007) Análise da Dinâmica Espacial do Ecossistema Manguezal de Imbituba e do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS.

Figura 49– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Gurui



Figura 50. Representação espacial de bosques de mangues no rio Acaraú (2007)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Martrigrafo do Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 55936

FONTE:
CORAÇA, A. S. (2010). Análise espacial de
Linha de costa e manguezal em Fortaleza.
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARA - IPECE
Programa de Pós-graduação em Geografia
INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARA - IPECE
MARCIA FIDELIS VIGILANTE
https://repositorio.ufc.br/riodoc/

Figura 50– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Acaraú

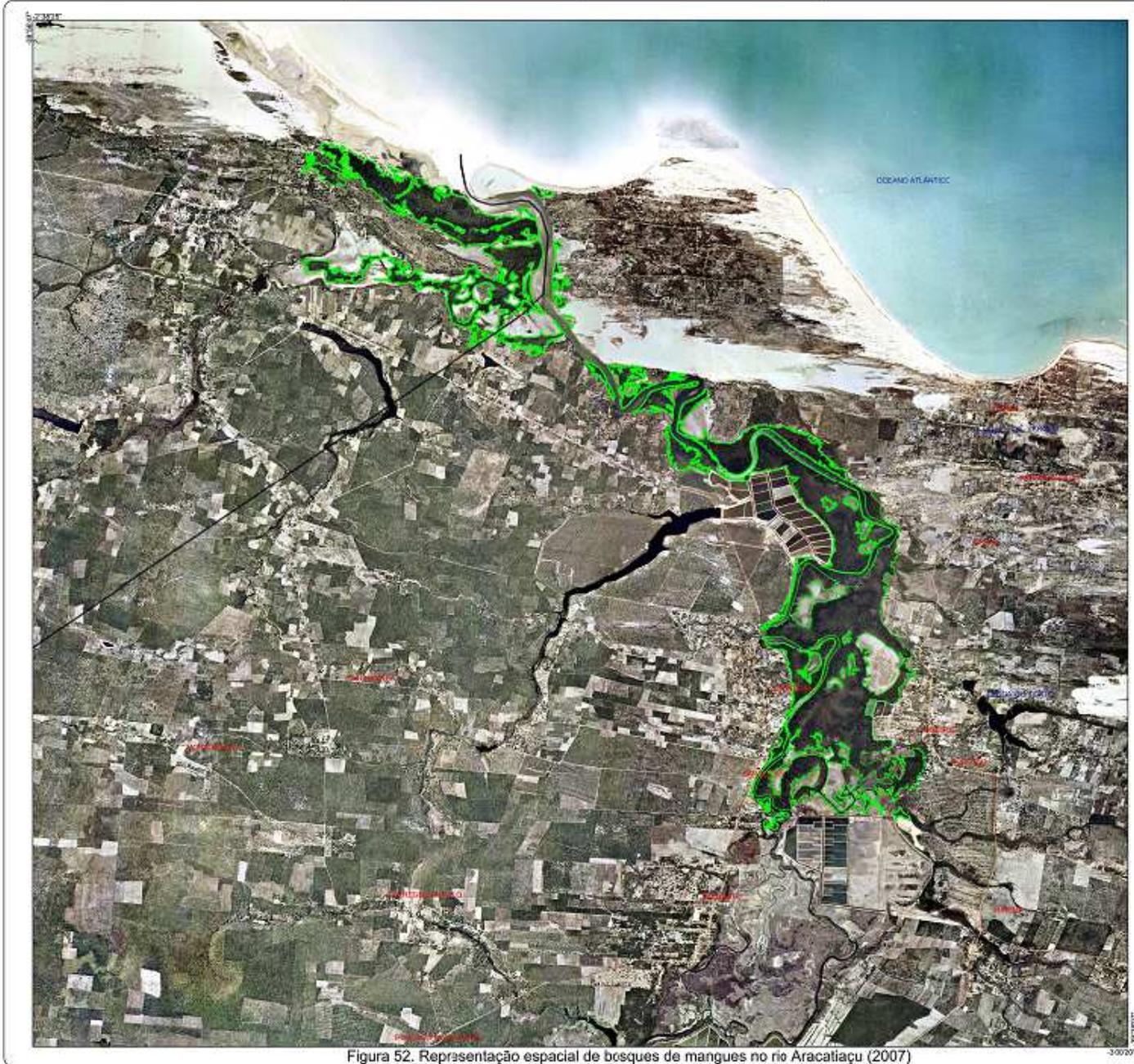
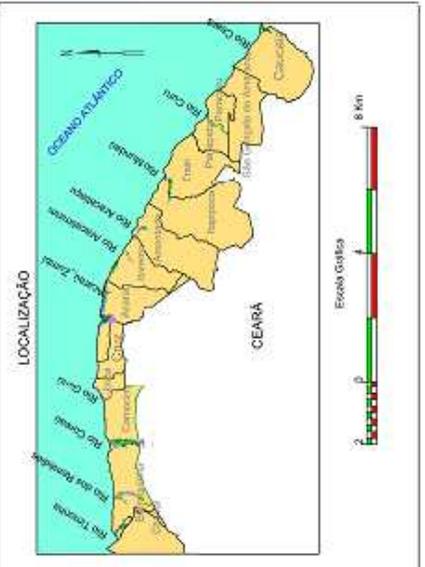


Figura 52. Representação espacial de bosques de mangues no rio Aracatiçu (2007)



ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
Datum Horizontal - SAD 69/96

FONTE:
 Orlado de 1:20.000 com orientação geográfica 20°
 Levantamento geográfico 135.000 realizado em 2007
 INSTITUTO DE PESQUISA E ESPANHOLA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE
 Imagens do sensor TM do satélite LANDSAT 5 com resolução espacial 30m
 INSTITUTO DE PESQUISA ESPACIAL - IPE
 NASA (Site em inglês para Administração Nacional de Aeronáutica e do Espaço)
<http://sdc.usace.army.mil/arcatacu/>

Figura 52– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Aracatiçu



Figura 53. Representação espacial de bosques de mangues no rio Mundaú (2007)

Fonte: THIERS (2012)

ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL



Bosque de Mangue

Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC
 Datum Horizontal - SAD 69/96

FONTE:
 Orlas hidrográficas: 1:20.000 com resolução espacial de 2m
 Levantamento cartográfico: 1:20.000 realizado em 2007
 Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE
<http://ipece.ce.gov.br>
 Imagens do sensor TM do satélite LANDSAT 5 com resolução geométrica 30m
 Instituto de Pesquisa Espacial - INPE
<http://inpe.br>
 NUBIA: Cópia em rigor para o trabalho "Mapeamento de Manguezais e do Espaço"
http://nubia.ce.gov.br/portal_gov/portal_gov.nubia.html

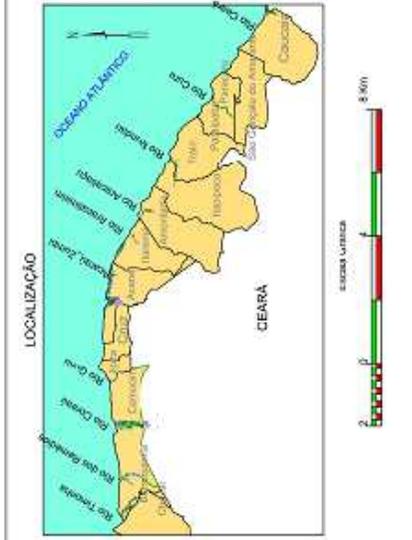


Figura 53– Representação espacial de bosques de mangues no estuário do rio Mundaú

5.2 *Dinâmica evolutiva dos bosques de mangue da costa oeste cearense*

O estudo da dinâmica espacial da área de estudo utilizou-se de imagens de média resolução espacial adquiridas pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5, para o mapeamento dos bosques de mangue que abrangem o recorte temporal compreendido entre 1985 e 2008, mas que contêm imagens dos anos de 1988, 1996, 1998, 1999, 2000, 2006 e 2007. Como já observado na introdução deste relatório de pesquisa, 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 a 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 56, 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 releva aspectos preocupantes, vista que a análise individualizada para o estuário do rio Aracatimirim verificou crescimento superior a 139%, correspondendo à variação de pouco mais de 39 hectares para mais de 146 hectares de vegetação de mangue no estuário.

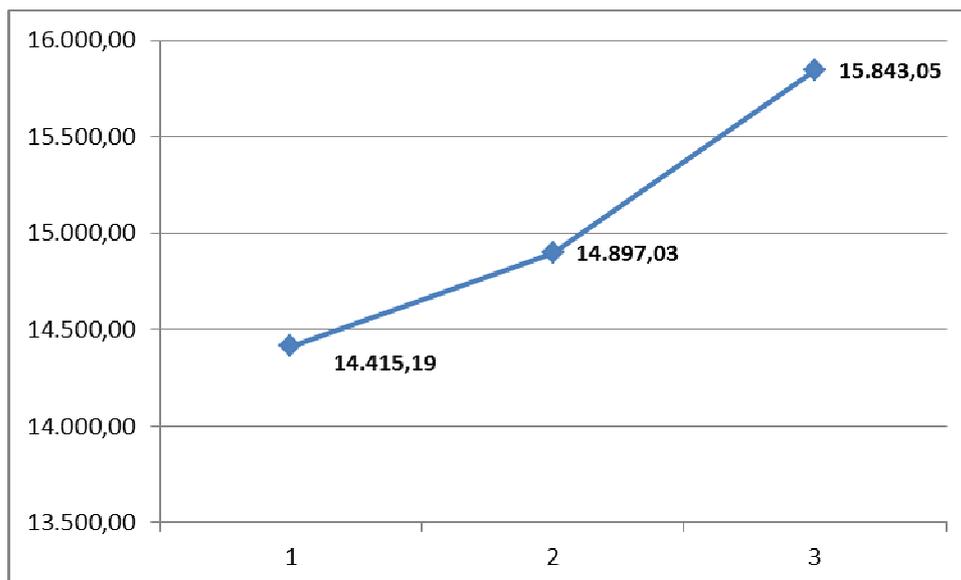


Figura 56 – Dinâmica quantitativa das áreas de mangue na costa oeste cearense.

Se analisado o conjunto de estuários com áreas de vegetação superiores a 1000 ha, verifica-se que os incrementos de coberturas vegetacionais apresentaram-se discretos, com 2% para o estuário do rio Acaraú e 3% para o rio Coreau. 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 de vegetação de mangue.

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 57 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.

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.

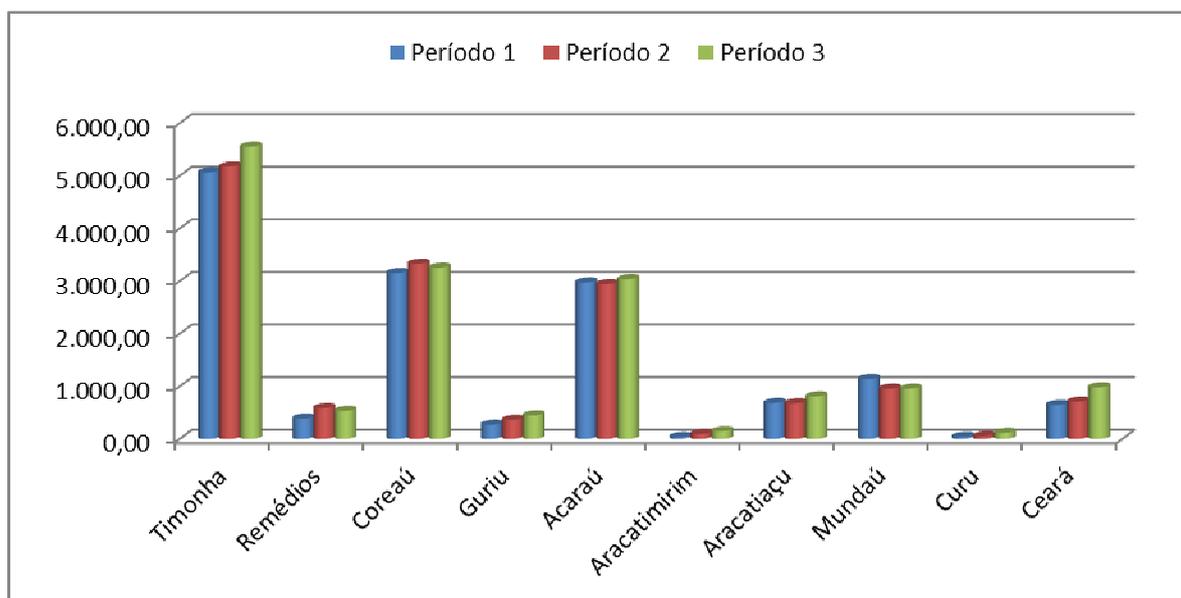


Figura 57 – Evolução dos bosques de mangue nos estuários da costa oeste cearense.

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.

5.3 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; SOARES, 1988; HERZ,1991; 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 <i>et al</i> 1988	HERZ (1991)	MONTEIRO <i>et al</i> (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 (2012)

5.3.1 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. Para tanto, novas classificações serão realizadas com abordagem metodológica adotada pela pesquisa.

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 CPRM (2012), registradas com imagens geocover, isentas de degradação da qualidade geométrica.

Ressalte-se que a restrição ao uso dos dados relativos a apenas três estuários, acima referidos, está diretamente relacionada à 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%. A Figura 58 traz a classificação orientada a objeto para o estuário do rio Ceará.

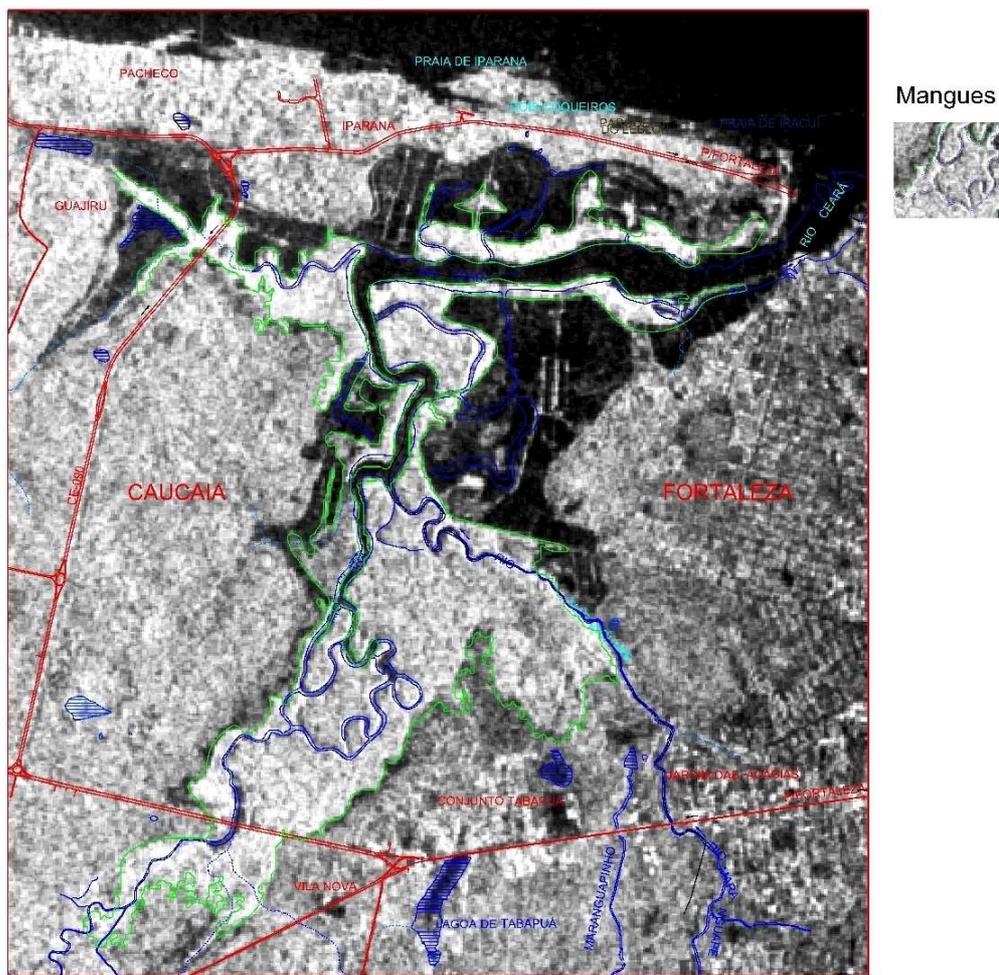


Figura 58 – Representação espacial de bosques de mangues no rio Ceará Imagens de Radar (1976)

Já para o estuário do rio Coreaú (Figura 59), 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).

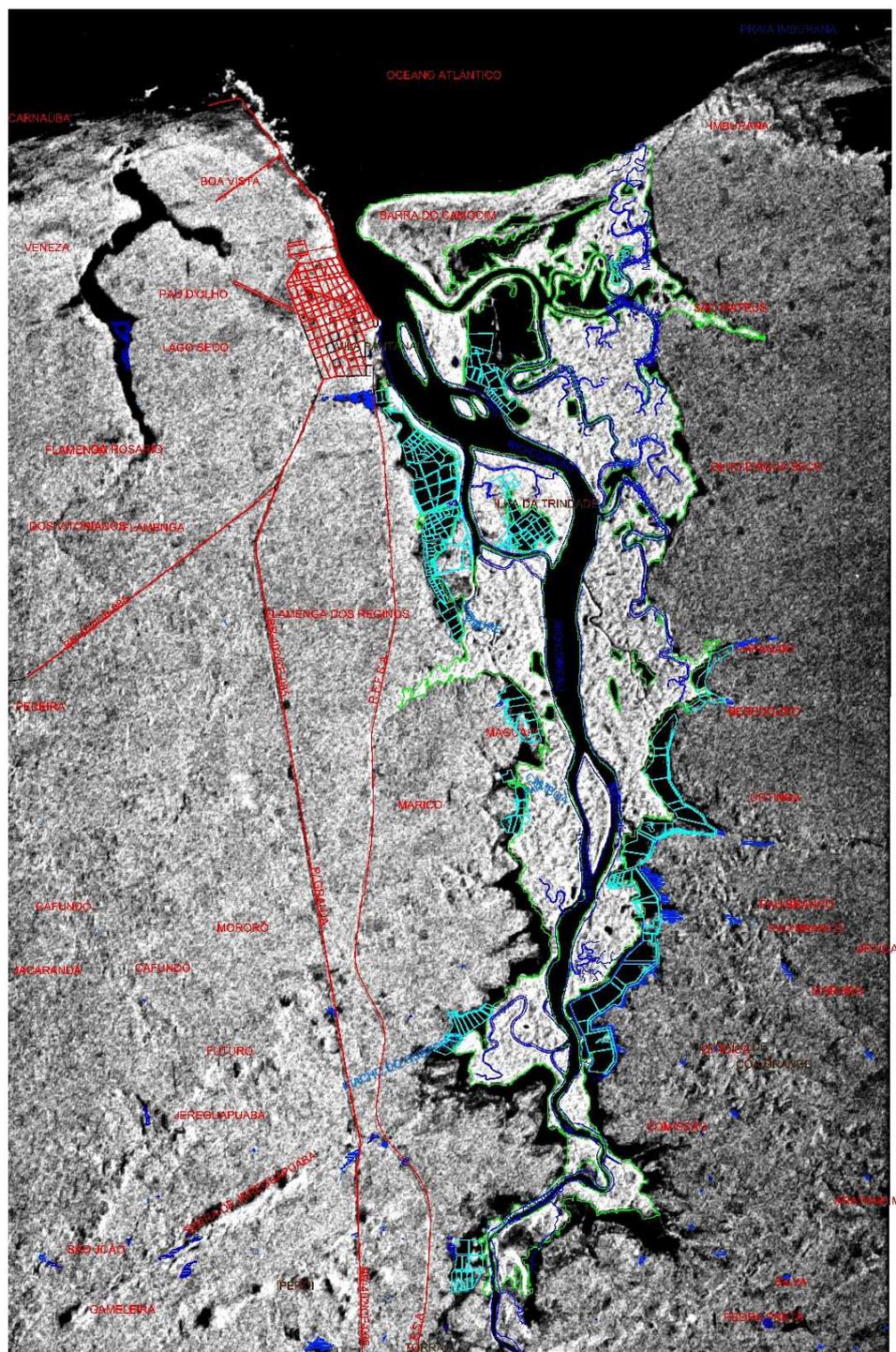


Figura 59 – Representação espacial de bosques de mangue no rio Coreáú imagens de Radar (1976)

A quantificação dos bosques de mangues do estuário do rio dos Remédios, utilizando as imagens originais de radar de visada lateral tomadas para o Projeto RADAMBRASIL, calculada por produtos da classificação orientada a objeto (Figura 60), totalizou 868,66 hectares, compreendendo uma discrepância relativa aos dados publicados no trabalho de HERZ (1991) acima de 90%.

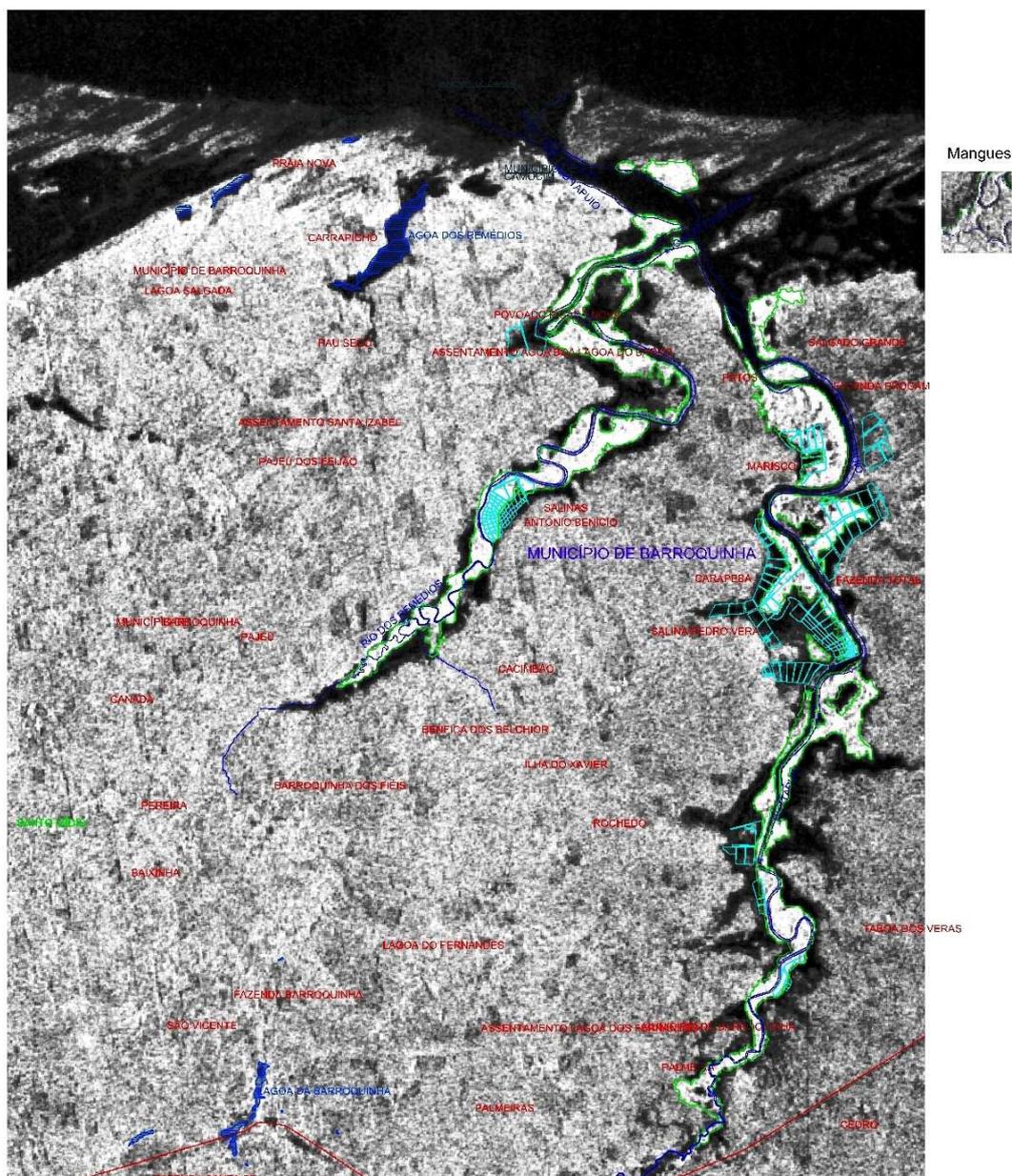


Figura 60 - Representação espacial de bosques de mangue no rio dos Remédios imagens de Radar (1976)

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, utilizando as mesmas imagens de radar que originaram as fotocartas do trabalho em questão, conforme figuras acima (58, 59 e 60).

Observam-se grandes discrepâncias em relação aos dados publicados por HERZ (1991) e os dados obtidos por classificação quantitativa sobre as 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)	THIERS (2012)	Incremento (2)/(1)
	(1)	(2)	
	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 (2012)

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

A CPRM (2012) afirma que os mosaicos para geração das fotocartas foram processados analogicamente e montados por processo manual: “[...] assim, são produtos fotográficos de terceira geração e têm resolução menor do que as imagens originais”. De outra forma, está evidenciado que esse produto, em formato analógico, não apresenta contraste suficiente, com tonalidades de baixa densidade, que impõem dificuldades na interpretação das classes de bosques de mangues e feições dos seus entornos para alguns estuários (HERZ, 1991).

A análise inicia-se com observação sobre a escala utilizada: 1:250.000, 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 2500 m² (0,25ha) poderiam ser representados, nessa escala de mapeamento, com dimensões gráficas de 0,2mm.

Outro aspecto de relevância a considerar está relacionado à extração das feições de mangue sobre produto cartográfico gerado pelo processo acima explicitado, eivado de erros sistemáticos: geometria e georreferenciamento, associados à tonalidade de baixa densidade das fotocartas.

E, por último, na tentativa para explicar as elevadas discrepâncias nos resultados, aponta-se para o método utilizado para a quantificação das áreas de

mangues: Pontos de contagem. Não há, tecnicamente, questionamentos acerca do método de quantificação utilizado, que poderia ser aplicado em circunstâncias outras, mas desde que a escala de trabalho fosse superior a 1/250.000 e, mesmo assim, haveria incertezas nos resultados.

Em tempo, Monteiro (2005, pg. 36) afirma que em Herz (1991) o “[...] método utilizado para o mapeamento das áreas de manguezais do Brasil desconsidera superfícies com áreas inferiores a 0,5 Km²”, que equivale afirmar de que áreas com dimensões inferiores a 50 hectares não foram mapeadas.

5.3.2 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 em imagens TM, com resolução espacial de 30m e com produtos obtidos com processamento de imagens de altíssima altíssima resolução espacial, nesta pesquisa.

As imagens utilizadas pelos autores do trabalho em questão, foram adquiridas pelo sensor ETM+ do satélite LANDSAT 7, com resolução espacial de 30m para as 7 bandas na faixa do visível ao infravermelho próximo. As composições coloridas utilizadas foram fusionadas com a banda pancromática para aumentar a resolução 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 e escolha da faixa do espectro que atenderá à finalidade, da resolução espacial e que tipos de feições deverão ser objeto da extração de informação.

A Tabela 17 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 do mesmo não estar quantificado no estudo de MONTEIRO *et al.* (2005)

Tabela 17 - Comparação de quantificação de manguezais em MONTEIRO *et al.* (2005) com resultados adquiridos por classificação orientada a objeto nesta pesquisa.

	MONTEIRO <i>et al.</i> (2005)	THIERS (2012)	THIERS (2012)
	ETM+	TM	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 (2012)

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

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

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, verifica-se 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 diferença a 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%.

Certamente que a razão para essa diferença está relacionada a finalidades e propósitos da pesquisa publicada. Deduz-se que, no desenvolvimento dos trabalhos de Monteiro *et al.* (2005), é o entendimento, não foram agrupados os

dados de bosques de mangues correspondentes ao estuário Zumbí, abordagem considerada nessa investigação: Acaraú e Zumbí foram processados conjuntamente.

Analisando-se comparativamente, e individualmente, os dados do sensor ETM+ com dados calculados pelo sensor TM utilizados na pesquisa, foi observada maior diferença para o estuário do rio Aracatimirim, onde essa investigação determinou as áreas de bosques de mangue com 76%, a maior. Embora essa diferença, expressa percentualmente, impressione por sua magnitude, representa pouco mais que 63 hectares e pouco altera os resultados globais considerados para os manguezais da costa oeste cearense.

A Figura 61 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 e Guriú: não foi objeto do trabalho publicado.

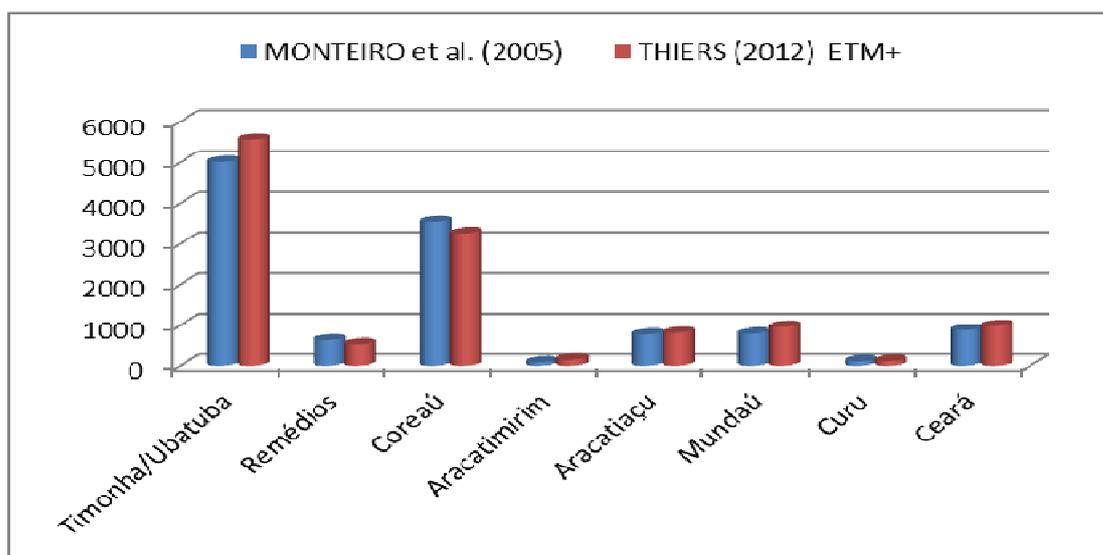


Figura 61 – Quantificação das áreas de mangue obtidas com o sensor TM em relação a MONTEIRO *et al.* (2005).

6 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 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 girando em torno de 90%, considerando como referência, para a verdade terrestre, as imagens 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 às características técnicas dos produtos utilizados e às metodologias de investigação utilizadas, à época.

Objetivamente, ratifique-se, de que a quantificação de áreas de manguezais, com imagens de média resolução espacial, tinha por função precípua 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.

Em complementação aos objetivos estabelecidos para a pesquisa, foram procedidas avaliações dos produtos gerados por Herz (1991) e Monteiro *et al.* (2005). A classe de feições de mangues em Herz (1991) foi gerada através de interpretação visual de feições de mangues, baseada em regras e experiência do especialista humano, sobre fotocartas na escala de 1:250.000. Já em MONTEIRO *et al.* (2005) a classe de feições mangues foi determinada sobre imagens do sensor ETM+ do satélite LANDSAT 7 através, também, da interpretação visual.

Para a avaliação das informações de Herz (1991), foram realizadas classificações com orientação a objetos sobre as imagens de radar originais, utilizadas para a obtenção das fotocartas na escala de 1:250.000, para os estuários dos rios dos Remédios, rios Coreaú e para o rio Ceará. A comparação dos resultados da classe de mangues, obtidos pelo método de classificação adotado na pesquisa, com os valores publicados nesse trabalho (HERZ, 1991), apresentaram discrepâncias relativamente grandes.

A Tabela 18 apresenta a comparação entre valores observados por Herz (1991) e valores adquiridos por classificação orientada a objeto, nessa investigação.

Tabela 18 - Comparação de quantificação de manguezais em HERZ (1991) com resultados adquiridos por classificação orientada a objeto nessa pesquisa.

Estuários	HERZ (1991)	THIERS (2012)	Incremento (2)/(1)
	(1)	(2)	
	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 (2012)

A análise leva à conclusão de que os resultados discrepantes são decorrentes da qualidade dos produtos utilizados na geração das fotocartas, processados analogicamente e montados por processo manual: “[...] assim, são produtos fotográficos de terceira geração e têm resolução menor do que as imagens originais (CPRM, 2012)”.

A escala 1:250.000 é relativamente pequena para mapeamento de feições de dimensões reduzidas, e o contraste, com tonalidades de baixa densidade, impõem dificuldades na interpretação das classes de bosques de mangues e feições dos seus entornos, segundo Herz (1991). Conforme citado anteriormente, Monteiro *et al.* (2005, pg. 26) afirma que em Herz (1991) o “[...] método utilizado para o mapeamento das áreas de manguezais do Brasil desconsidera superfícies com áreas inferiores a 0,5 Km²”. Isso implica em redução considerável na quantificação total.

Na tentativa para explicar as elevadas discrepâncias, pode-se apontar para o método utilizado para a quantificação das áreas de mangues: pontos de contagem. Não haveria questionamentos do método utilizado para a quantificação

dos bosques de mangues, que poderia ser aplicado em circunstâncias outras, mas desde que a escala de trabalho fosse superior a 1/250.000 e, mesmo assim, poderia haver incertezas nos resultados.

A análise conclusiva sobre esses valores leva a constatar que entre os anos de 1976 e 1985 houve decréscimo nas áreas de bosques de mangues nos estuários do rio dos Remédios e rio Acaraú avaliados. A constatação poderá ser feita observando as imagens (figuras 59 e 60) de radar georreferenciadas, onde foi feita a superposição das geometrias de tanques de carcinicultura levantados em 2007, constantes de ortofotocartas produzidas IPECE.

Para a avaliação técnica que justifica as discrepâncias entre os valores produzidos nessa investigação, com os dados observados pelo trabalho publicado por Monteiro *et al.* (2005), estão diretamente relacionadas às resoluções espaciais das imagens utilizadas e aos métodos para mapeamento das classes de bosques da Costa Oeste do Ceará. Para fins de visualização, apresenta-se o gráfico comparativo (Figura 62) das quantificações de Monteiro *et al.* (2005) comparados com os valores obtidos para o sensor TM de média resolução e as ortofotos.

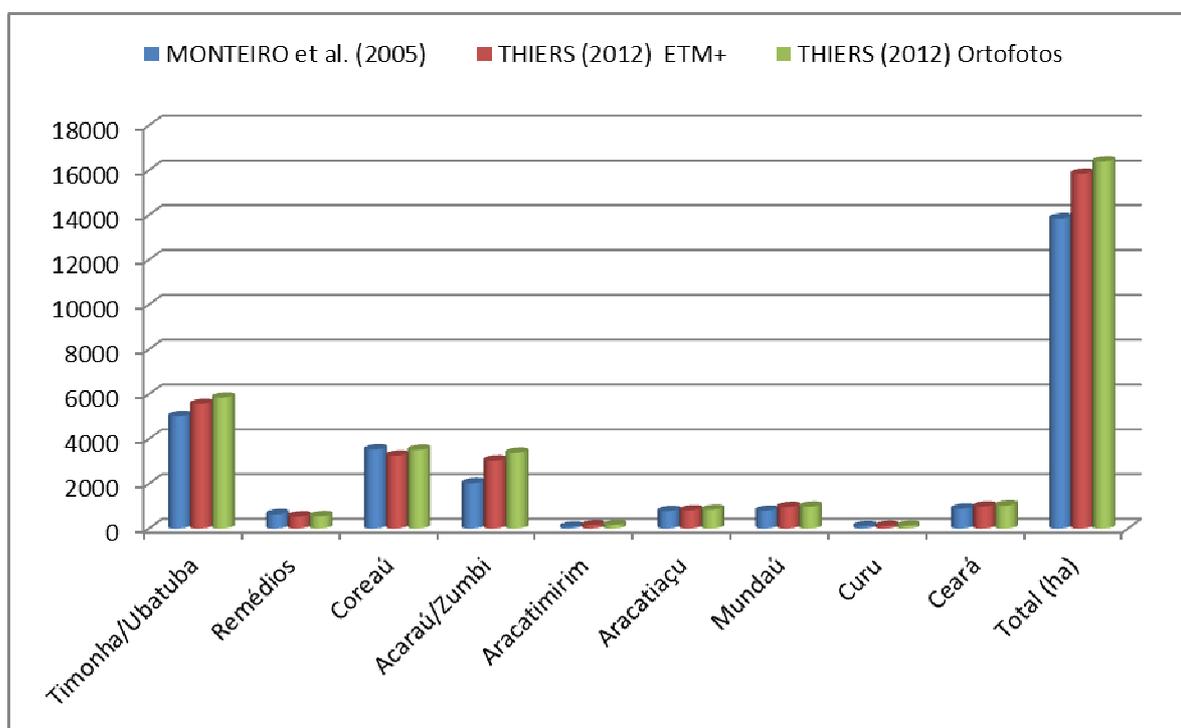


Figura 62 – Quantificação das áreas de mangue por Monteiro et al. (2005), ETM+ e Ortofotocartas.

Os resultados obtidos são de significativa importância para o mapeamento temático a serem desenvolvidos para pesquisas. Principalmente porque haverá

disponibilidade de imagens, com resolução entre 15m e 2,5m, para recobrimento do Estado do Ceará. A NASA anunciou que fez o lançamento da Missão de Continuidade de Dados LANDSAT no dia 11 de fevereiro de 2013, com aperfeiçoamentos: registre-se, que as missões LANDSAT lançadas prestaram inestimáveis serviços de mapeamento de recursos naturais. Por outro lado, informe-se que o Governo do Estado está adquirindo imagens SPOT, com resolução espacial de 2,5m, para mapeamento de todo o território cearense.

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, vista 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 o desenvolvimento de atividades antropogênicas, têm 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.

Em face de constatações, é importante ressaltar que 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 observados demonstram, enfaticamente, que houve ampliação nas áreas de manguezais na Costa Oeste do Estado do Ceará, mesmo em face da implementação de viveiros destinados à carcinicultura. Entretanto, essa conclusão dependerá de ponto de vista e qual a referência temporal utilizada para o balizamento conclusivo.

A avaliação feita acima e no corpo dessa investigação, para o trabalho publicado por Herz (1991), indica que a atividade de carcinicultura impacta a dinâmica ambiental e, por conseguinte, constitui-se em tensor que limita a capacidade de regeneração dos manguezais.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Bases conceituais e papel do conhecimento na previsão de impactos.** In: MULLER-PLANTENBERG, G. e AB'SABER, A. N. (orgs.). *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.** Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, 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 Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, 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.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 909-917.

ARAÚJO, M.V.; FREIRE, G.S.S.; COSTA, S.S.L.; PORTELA, J.P. **Análise geoambiental Da área estuarina do rio Acaraú, município de Acaraú – Ceará – Brasil, usando técnicas de sensoriamento remoto.** In Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, 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 XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000.* Karlsruhe. Herbert Wichmann Verlag, 2000. p. 12 – 23. Disponível em: <
<http://www.definiens.com/pdf/publications/baatzFP12.pdf>> Acesso em: 12/12/2012.

BARBIER, Edward B. et al. The value of estuarine and coastal ecosystem services. In: *Ecological Monographs*. 2009, Vol. 81 No. 2. p. 169-193

BERNARDI, H. V. F., DZEDZEJ, M.; CARVALHO, L.; MAÍRA. T.; ACERBI JR., F. W. **Classificação digital do uso do solo comparando os métodos “pixel a pixel” e orientada ao objeto em imagem QuickBird – In Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5595-5602.**

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

BLASCHKE, T. & KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores e métodos inovadores – 2ª Ed.** - São Paulo, Editora Oficina de Textos, 2007.

BLASCHKE, T. & STROBL, J. **What's wrong with pixels? Somerecent deselopments interfacing remote sensing and GIS.** 2001. Disponível em: <http://www.definiens.com>.

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

BUARQUE, S.C. **Metodologia de planejamento do desenvolvimento local e municipal sustentável.** Brasília, IICA, 2ª Edição, 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.** Periódico Eletrônico: Forum Ambiental da Alta Paulista. Volume III, Ano de 2007. ISSN 1980-0827. Instituição Organizadora: ANAP – Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista.

CAMPOS FILHO, Pio. **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>.

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.

CAMPOS, A. A. **A importância da proteção do manguezal.** Disponível em <<http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=785643>>. Acessado em 24/11/2012.

CLARKE, K.C. **Getting Started with Geographic Informations Systems.** U.S.A., Prentice-Hall, Inc, 1999.

Código Florestal Brasileiro. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

COSTA NETO, N.D.C. **Crimes e Infrações Administrativas Ambientais**. Brasília, Editora Brasília Jurídica Ltda, 2000.

CEARÁ. **Plano de Manejo da APA do Rio Ceará**. Fortaleza, 2005.

CEPSRM. **Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. CEPSRM Disponível em (<http://www6.ufrgs.br/engcart/PDASR/sensores.html>). Acesso em 25/05/2011.

CPRM. **Projeto RADAM-D: Preservação e disseminação das imagens originais geradas pelos projetos RADAM e RADAMBRASIL**. Disponível em (<http://www.cprm.gov.br/publique/cqi/cqilua.exe/sys/start.htm?infoid=796&sid=9>). Acesso 14/03/2012.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP, IG/UNICAMP, 1993. 170p.

CUNHA-LIGNON, M. **Dinâmica do manguezal no sistema de Cananéia-Iguape, estado de São Paulo**. Dissertação Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2001.

EDWARDS, T. C., HOMER, C. G., BASSERT, S. C., FALCONER, A., RAMSEY, R. D. and D. W. Wight. **Gap Analysis: An Environmental Information System**. Utah Co-operative Fish & Wildlife Research Unit, 68 pp. Utah. 1995.

ENCARNAÇÃO, S.A; ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J.A. **Segmentação multiresolução e Classificação Orientada a Objecto de Imagens SPOT**. Disponível em <http://www.igeo.pt/servicos/DPCA/biblioteca/PublicacoesIGP/ESIG_2004/p068.pdf> Acesso em 21/08/2012.

EMBRAPA. disponível em: <<http://www.embrapa.br/>> Acessado em 06/09/2011.

ENVI. **Classificação por Regra: Segmentação Orientada ao Objeto**. Disponível em <[http://www.exelisvis.com/portals/0/tutorials/envi/Feature Extraction RuleBased.pdf](http://www.exelisvis.com/portals/0/tutorials/envi/Feature%20Extraction%20RuleBased.pdf)> (<http://en.wiktionary.org/wiki/anthropization>) Acessado em 27/08/2012.

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.

FOODY, G. **Status of land cover classification accuracy assessment**. Remote Sensing for Environment, p.185-201.2002.

FUPEF. **Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal**. Curitiba-PR, FUPEF, 1998.

GONÇALVES, F.; NOGUEIRA, J. **Delimitação e Caracterização da APA do Estuário do Rio ARacatiaçu – Amontada-CE**. Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS), Local de publicação (editar no plugin de tradução o arquivo da citação ABNT), 10 Outubro 2012. Disponível em: <<http://www.uvanet.br/rcgs/index.php/RCGS/article/view/71/72>>. Acesso em: 08 Dez. 2012..

GONÇALVES, R.M.; CORTES, J.B.R.; SCHMIDT, M.A.R.; SCHIMALSKI, M.B. **Classificação hierárquica r fuzzy de imagens de alta resolução**. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-27 abril 2007, INPE, p. 547-554.

GONZALEZ, R.; WOODS, R. **Processamento de imagens digitais**. Ed. Edgard Blucher, São Paulo 2000.

GUIMARÃES, A.S. **Análise multitemporal de manguezal do litoral norte de Pernambuco: A participação da aqüicultura na conversão de áreas de manguezais em viveiro**. Dissertação de mestrado UFPR, Recife – PE. 2007.

GONZALEZ, R.; WOODS, R. **Processamento de imagens digitais**. Ed. Edgard Blucher, São Paulo 2000.

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

HERZ & JASKOW, A. **Remote sensing of mangrove areas on the Brazilian coastal and ocean management**. In: SYMPOSIUM ON COASTAL OCEAN MANAGEMENT, 4. Baltimore, 1985. Proceedings. Magoon, O. T., Ed. Coastal Zone'85. New York, American Society of Civil Engineers. 2: 1382-1389.

HARA, L.T. **Técnicas de Apresentação de Dados em Geoprocessamento**. In: Dissertação de Mestrado, Campinas, UNICAMP, 1997.

IBGE. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Primeira Divisão de Geociências do Nordeste – Rio de Janeiro : IBGE, 2001) 94p. (Manuais Técnicos em Geociências, ISSN 0130-9598; n.9).

_____ **Projeto RADAMBRASIL**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>, acessado em 13/01/2012.

JANOTH, J.; EISL, M.; KLAUSHOFER, F.; LUCKEL, W. **Sensoriamento remoto e SIG: novos sistemas sensores e métodos inovadores** – versão brasileira atualizada e organizada por Thomas Blaschke e Hermann Kux - 2ª ed. – pg. 99 a 103. São Paulo: Oficina de Textos , 2007.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto: uma perspectiva em recursos terrestres**; tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)... (*et al*). São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KOHAGURA, T. **Lógica Fuzzy e suas Aplicações**. Universidade Estadual de Londrina – departamento de computação. 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 p.443-455. 2002.

LACERDA, L. D. **Os manguezais do Brasil**. In **Os manguezais e nós**. 2ª Edição. São Paulo: Editora da Universidade de Sao Paulo, 2002.

LUCCA, E. V. D. **Avaliação e comparação de algoritmos de segmentação de imagens de radar de abertura sintética**. 207 p. 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>. Acessado em 16/01/2013.

MARIANO, D.L.S. **Bio Digital – Atlas da biodiversidade faunística dos ecossistemas aquáticos de Sergipe**. <<http://www.labec.com.br/biodigital/ambientes/manguezais/aspectosecologicos/>>. Acessado em 14/06/2012.

MEIRELES, A.J.A.; CASSOLA, R.S.; TUPINAMBÁ, S.V. e QUEIROZ, L.S. **Impactos ambientais decorrentes das atividades da carcinicultura ao longo do litoral cearense, nordeste do Brasil**. *Revista Mercator*, Departamento de Geografia da UFC, nº 12, 2007: 83-106.

MEIRELES, A. J. A.; CAMPOS, A. A. **Os componentes Geomorfológicos, funções e serviços dos complexos estuarinos do Timonha/Ubatuba (CE/PI), Nordeste do Brasil**. In Revista da ANPEGE, Vol. 6, Nº 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: V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brazil, 90-94.

MMA. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 302**, de 20 de março de 2002 Publicada no DOU nº 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, páginas 67-68.
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=298>> Acessado em 21/08/2011.

_____. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002**. Publicada no DOU no 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, página 68.
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=298>> Acessado em 13/07/2012.

MONTEIRO, L.H.U.; SOUZA, G.M.; MAIA, L.P.; SILVA, L.F.F.; LACERDA, L.D. **Evolução das áreas de manguezal do litoral do Nordeste entre 1978 e 2004**. Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR/UFC/Revista ABCC. Natal-RN. 2005.

NASA – Disponível em : <https://www.zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl> Acessado em: 15/05/2012.

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

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**. In tese de doutorado na área de Eletro-Técnica e Tecnologia de Informação. Universidade de 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 - RJ**. 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: 2012-07-26.

PILZ, H. STROBL, J. **Análise de impermeabilização com base em ortofotografias coloridas digitais através de processamento de imagens orientadas a objetos: Sensoriamento remoto e SIG: novos sistemas sensores e métodos inovadores** – versão brasileira atualizada e organizada por Thomas Blaschke e Hermann Kux - 2ª ed. – pg. 99 a 103. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

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. 179p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Registro do documento original: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/11.23.13.40>>

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: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, 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.; G, M. **SIG: Sistemas de Información Geográfica**. Madrid, Editora Síntesis, 1999.

RIBEIRO, B.M.G. **Extração de superfícies impermeáveis a partir de imagens QuickBird aplicando classificação orientada a objeto**. In Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.259-269.

RICHARDS, J.A. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Australian Defence Force Academy. Campbell ACT 2600, Austrália. 1995.

SANTOS, M.C.F.V. **Apicuns, Salgados e Manguezais e a ideologização do debate sobre a carcinicultura marinha brasileira**. Artigo Publicado na Revista da ABCC, Edição nº 4, 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 - Miraíma/Ceará**. In Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos – Crises, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças – Espaço de Diálogo e Práticas, Porto Alegre, 25-31 julho 2010, Associação dos Geógrafos do Brasil.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. & CINTRÓN, G. **Brazilian mangroves: a historical ecology**. Ciênc. e Cult. Journ.I Brazil. Assoc. for the Advance. Sci., v.51, nº 3, 1999: 274-286p.

SEMACE. Decreto nº 90.379 de 1984, que criou a Área de Proteção Ambiental (APA) de Jericoarara . Disponível em

Área de Proteção Ambiental (APA) do Estuário do rio Mundaú, DECRETO Nº 24.414, de 29 de março de 1999. Disponível em:<<http://www.semace.ce.gov.br/2010/12/area-de-protecao-ambiental-do-estuario-do-rio-mundau/>>. Acesso em 14/11/2012.

_____ **Área de Proteção Ambiental do estuário do Rio Ceará, através do Decreto nº 25.413, de 29 de março de 1999.** Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/2010/12/area-de-protecao-ambiental-do-estuario-do-rio-ceara/>>. Acesso em 14/11/2012.

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. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo, 1991. 139p.

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. Síntese dos Conhecimentos. Cananéia, 1987. São Paulo, ACIESP, 1987. p.127-131.

Souza et al. **Contexto Geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Acaraú, Curu e Baixo Jaguaribe.** In Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 101. Fortaleza, 2005:52p.

SOUZA Filho, P. W. M. **Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos.** Rev. Bras. Geof. vol.23 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2005. ISSN 0102-261X.

SOUZA, G. F; Paranhos Filho, A. C.; Almeida, T. I. R.; Sigolo, J.B. **Análise comparativa entre a classificação orientada a objeto e a fotointerpretação de lagoas no Pantanal da Nhecolândia.** Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.296-303).

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. Curitiba, Editora Sagres, 1997.

UCPel – **Segmentação.** Universidade Católica de Pelotas. Disponível em. Acesso em 12/02/2012.

UFFRJ – **Características de imagens.** Disponível em < <http://www.uffrj.br/institutos/it/de/acidentes/sr43.htm>>. Acessado em 13/07/2012.

UFSC – **Lógica Fuzzy.** Disponível em <<http://s2i.das.ufsc.br/tikiwiki/apresentacao/logica-fuzzy.pdf>>. Acessado em 8/08/2012.

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 ciencia y tecnología para América Latina y el Caribe. Montevideo, 1980.

RENNÓ, C.D. Notas de Aula.<<http://www.dpi.inpe.br/~camilo/estatistica/>> Acessado em 14/01/2013.

RIVERA, E.S. e CORTÉS, I.S. **Las experiencias del Instituto Nacional de Ecología en la valoración económica de los ecosistemas para la toma de decisiones.** Inst. Nac. de Ecol. México, Gaceta Ecológica, número especial 84-85, p.93-105, 2007.