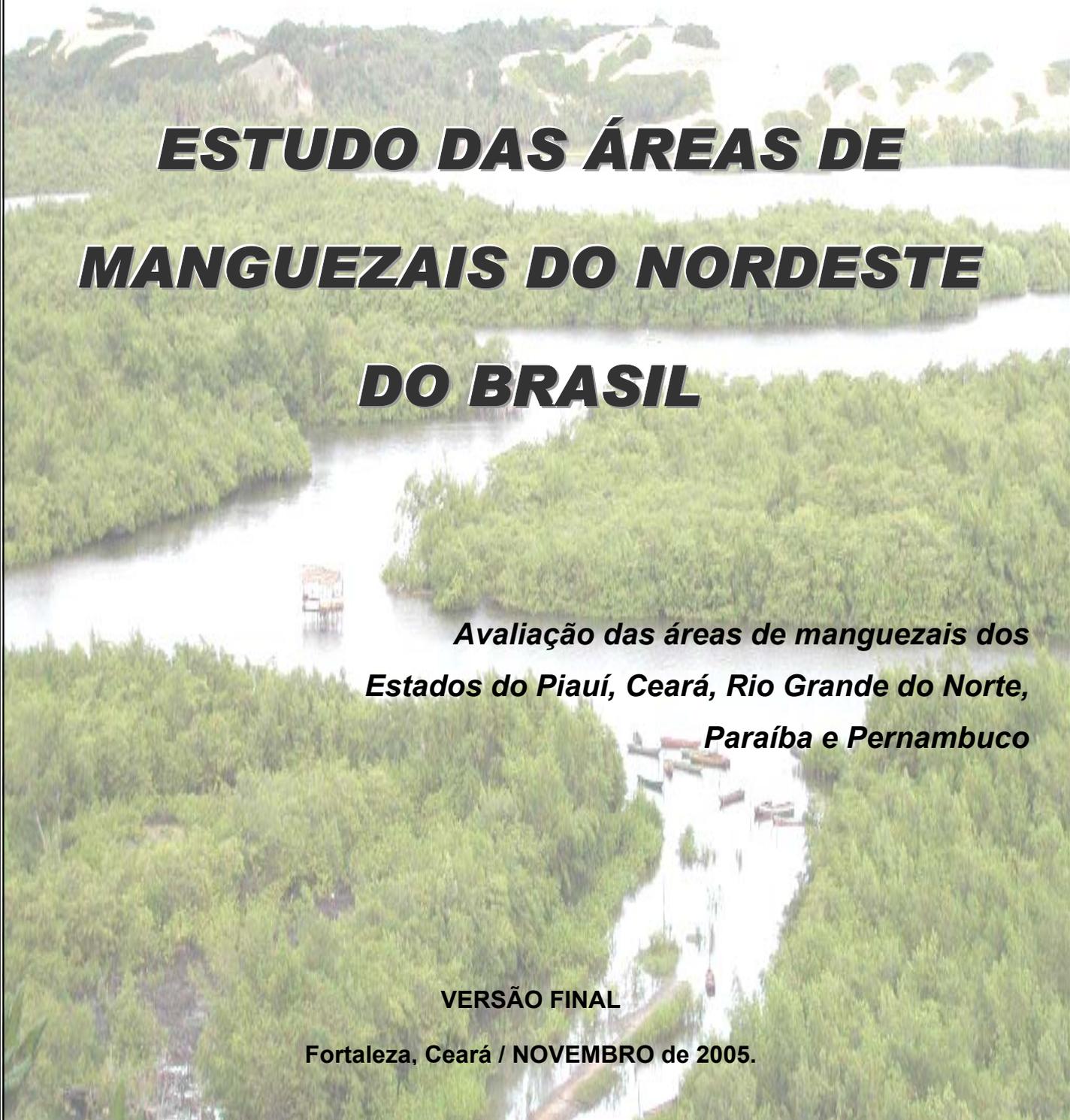




UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR



SOCIEDADE INTERNACIONAL PARA
ECOSSISTEMAS DE MANGUEZAL – ISME-BR



***ESTUDO DAS ÁREAS DE
MANGUEZAIS DO NORDESTE
DO BRASIL***

***Avaliação das áreas de manguezais dos
Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte,
Paraíba e Pernambuco***

VERSÃO FINAL

Fortaleza, Ceará / NOVEMBRO de 2005.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR**

**SOCIEDADE INTERNACIONAL PARA
ECOSSISTEMAS DE MANGUEZAL – ISME-BR**

**ESTUDO DAS ÁREAS DE MANGUEZAIS
DO NORDESTE DO BRASIL**

**Avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará,
Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco**

Equipe Executora:

Dr. Luis Parente Maia

Diretor do Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR UFC

Dr. Luiz Drude de Lacerda,

Msc. Leonardo Hislei Uchôa Monteiro

Bch. Guilherme Marques e Souza



**APOIO FINANCEIRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE CRIADORES DE CAMARÃO - ABCC**

Fortaleza, Ceará / Novembro de 2005.

ÍNDICE

1.0 – INTRODUÇÃO	6
2.0 – MANGUEZAIS E SUA DISTRIBUIÇÃO	7
2.1 – Flora	7
2.2 – Fauna	15
2.3 – Distribuição geográfica	16
3.0 – MAPEAMENTO DOS MANGUES	19
3.1 – Introdução aos Problemas Ambientais Comuns aos Estuários	20
4.0 – JUSTIFICATIVA	21
5.0 – OBJETIVOS	23
6.0 – ÁREA DE ESTUDO	23
7.0 – METODOLOGIA	23
7.1 – Sensor LANDSAT 7 ETM+	26
7.1.1 – Interpretação da composição RGB 432	27
7.1.2 – Interpretação da composição RGB 543	28
7.1.3 – Interpretação da composição RGB 321	29
7.1.4 – Interpretação da composição RGB 752	29
7.1.5 – Banda 8 Landsat 7 ETM+	31
7.2 – Ikonos	31
7.3 – QuickBird	33
7.4 – Delimitação dos Manguezais	33
7.5 – Cálculos de Áreas	34
7.6 – Descrição da área de estudo	34
8.0 – RESULTADOS	37
8.1 – Piauí	43
8.2 – Ceará	43

8.3 – Rio Grande do Norte	46
8.4 – Paraíba	47
8.5 – Pernambuco	47
8.6 – Sumário das áreas do projeto	48
9.0 – CONCLUSÃO	53
10.0 – REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	54

QUADROS

Quadro 1 – Quadro comparativo dos comprimentos de onda (μ) das bandas espectrais dos sensores LANDSAT.	27
---	----

TABELAS

Tabela 1 – Ocorrência das espécies de plantas dos mangues nas seis regiões biogeográficas (Fig. 01), localização ao longo da zonação do estuário e intermaré e características da forma estrutural (baseada de Tomlinson, 1986).	12
Tabela 2 – Área de manguezais nos estados do PI, CE, RN, PB e PE de acordo com o levantamento por sensoriamento remoto de Herz (1991), e de levantamentos locais e regionais (Freire & Oliveira, 1993) e aquelas obtidas no presente estudo. (Valores em km ²). [*] A comparação inclui apenas as áreas mapeadas por Herz (1991), portanto ligeiramente menores que as áreas atuais de manguezais medidas neste estudo.	34
Tabela 3 – Vista geral das comparações das áreas de manguezais propostas neste estudo com Herz, 1991. Os anos correspondem ao acervo de imagens dispostas neste trabalho. Os valores da coluna “ <i>Balanco em 25 anos</i> ” quando aparece em vermelho indica um déficit nas áreas de manguezais. Os valores de área estão em Km ² .	50

FIGURAS

Figura 1 – Distribuição global dos mangues ao longo das seis regiões biogeográficas, sua distribuição associada com a isoterma de 20°C	08
---	----

durante o inverno. No verão a duas isotermas migra no sentido dos pólos, influência também das correntes marinhas (Fonte: Spalding, et al 1997).	
Figura 2 – Vegetação típica de manguezal, <i>Rhizophora mangle</i> .	09
Figura 3 – Detalhe da <i>Avicennia schaueriana</i> ainda no estágio de crescimento.	10
Figura 4 – Detalhe da <i>Lagunculária racemosa</i> , rio Cocó, Ceará.	10
Figura 5 – <i>Conocarpus erectus</i> , desenvolvido na porção arenosa do manguezal do rio Jaguaribe, CE.	11
Figura 6 – Vários indivíduos de <i>Uca maracoane</i> se alimentando durante a maré baixa, Barroquinha, Ceará.	15
Figura 7 – Mapa de divisão das eco-regiões brasileiras. Sub-divisão baseada nas características climatológicas, geomorfológicas e geológicas (Baseado em Lacerda, 2005).	18
Figura 8 – Distribuição do percentual de área ocupada por campos de manguezais no Brasil. Fonte: Herz (1991).	22
Figura 9 – Mapa de localização da área de estudo e ocorrências dos campos de manguezais.	25
Figura 10 – Mapa de localização das áreas definidas para a estruturação do sistema de informação geográfica, baseada na disposição das cenas da órbita do satélite Landsat.	26
Figura 11 – Composição RGB 432 do LANDSAT 7 ETM+ (agosto de 2002), Imagem da desembocadura do rio Jaguaribe-CE. Observar áreas de manguezais em tons de vermelho escuro na margem direita do rio.	28
Figura 12 – Composição RGB 543 do LANDSAT 7 ETM+ de 2001, Imagem da região de Macau-RN. As zonas alagadas têm resposta espectral em tons lilás a róseo.	30
Figura 13 – Composição RGB 321 do LANDSAT 7 ETM+ 2001, imagem da região do estuário do rio Sirinhaém, Pernambuco. No detalhe as plumas de sedimentos em suspensão e realce da planície flúvio-marinha.	30
Figura 14 – Foz do rio Potengi no estado do Rio Grande do Norte, a) LANDSAT RGB 543 resolução espacial de 30 metros. b) LANDSAT Banda 8 resolução espacial de 15 metros, maior definição nos contornos das feições geográficas presentes nas imagens.	31
Figura 15 – Extrato de uma imagem Ikonos de composição RBG com resolução espacial de 1,0 metro. Rio Curimataú, extremo sul do Rio Grande do Norte, 2003. Detalhes da resolução deste produto onde é possível observar os aeradores nos viveiros de camarão na ampliação mais à esquerda, e o píer com duas embarcações à direita.	32
Figura 16 – Estuário do rio Jaguaribe (CE), mapeado a partir da combinação entre as composições coloridas RGB 543 e 432 LANDSAT 7ETM+, e fusão com a banda 8 (Resolução de 15m).	33

Figura 17 – Área 1, cena 219-62 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do Piauí e Ceará.	36
Figura 18 – Área 2, cena 218-62 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral extremo oeste do estado do Ceará.	36
Figura 19 – Área 3, cena 217-62 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral oeste do Ceará, Região Metropolitana de Fortaleza localizada no canto inferior direito.	37
Figura 20 – Área 4, cena 216-63 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral leste do Ceará e rio Apodí-Mossoró no Rio Grande do Norte.	37
Figura 21 – Área 5, cena 215-64 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral norte do estado do Rio Grande do Norte, Região de Macau e Guamaré.	38
Figura 22 – Área 6, cena 214-64 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte.	39
Figura 23 – Área 7, cena 215-64 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral do estado da Paraíba e parte do pernambucano até a região metropolitana da Grande Recife.	40
Figura 24 – Área 8, cena 215-64 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal da porção sul do litoral do estado pernambucano.	40
Figura 25 – Lagoa de Guarairas, região de Tibau do Sul, Rio Grande do Norte. Em 1978 tinha 4,5 Km ² , em 2003, 14,5 Km ² .	41
Figura 26 – Icapuí, extremo leste do litoral cearense, apresentando 0,69 Km ² de mangues em 1978, (1,04 Km ²) em 1999 e (0,62 Km ²) em 2002.	42
Figura 27 – Distribuição das áreas de mangue por Estado, (valores em Km ²).	43
Figura 28 – Razões de diminuição de área de mangues nas regiões de Aranaú e Acaraú. (A) Atividade de crescimento de barras arenosas e grande desenvolvimento de planície de deflação e campos de dunas sobre a planície fluvio-marinha, motivo causa da supressão de trechos de braços do rio Aranaú e áreas de mangues. As setas menores indicam a exumação de manguezais pela dinâmica sedimentar eólica. (B) Desmatamento de mangues para a construção do sistema de abastecimento e drenagem de uma fazenda de camarão. Áreas estimadas em 1,28 ha para as delimitações em vermelho. (C) Construção de estradas sobre os manguezais, para este trecho de aproximadamente 325 metros por 8 de largura verifica-se uma perda 0,26 ha. Extratos de imagens Quickbird de 2003, composição multiespectral fusionada com a banda PAN.	44
Figura 29 – Desembocadura do Rio Jaguaribe, CE. A foto mostra o avanço das dunas sobre os campos de mangues na foz do rio, margem direita.	45

Figura 30 – Regiões de mangues em zonas alagadas durante as marés altas, Lagoa de Guaraíras, RN. Mangues da porção norte da lagoa, próximo aos campos de dunas.	46
Figura 31 – Vista panorâmica na direção leste da lagoa de Guaraíras. Áreas de mangues próximo ao canal que liga as lagoas de Guaraíras e Papeba.	46
Figura 32 – Gráfico com as 51 áreas de ocorrência de mangues identificadas dentro da área de estudo. Localidade versus área em km ² .	49

APÊNDICE I

Comparativo das áreas de mangues estudadas neste estudo com as do ano de 1978, por Estado.

APÊNDICE II

Mapeamento das áreas de mangues

1.0 – INTRODUÇÃO

Os manguezais ocupam uma fração significativa do litoral brasileiro, cerca de 92% da linha de costa (± 6.800 km), estendendo-se do extremo norte no Oiapoque, Estado do Amapá ($4^{\circ}30'N$), até seu limite sul na Praia do Sonho em Santa Catarina ($28^{\circ}53'S$). Este ecossistema desempenha papel fundamental na estabilidade da geomorfologia costeira, na conservação da biodiversidade e na manutenção de amplos recursos pesqueiros, geralmente utilizados pela população local. Particularmente ao longo do litoral nordeste, devido ao clima semi-árido (Marins *et al.*, 2003), às condições oligotróficas das águas costeiras e à importância da pesca artesanal para a população litorânea (Lacerda & Marins, 2002), essas propriedades dos manguezais são ressaltadas, tornando-os ecossistemas de imenso valor ecológico e ambiental. Baseado nessas propriedades, a legislação brasileira considera as áreas de manguezal como áreas de preservação permanente. Entretanto, apesar dos esforços para sua conservação, os manguezais encontram-se permanentemente ameaçados por diversas atividades humanas desenvolvidas tanto no litoral, quanto no interior. Os principais vetores potenciais geradores de impactos sobre os manguezais incluem a barragem de rios, a agro-pecuária, incluindo a aquicultura, e a urbanização, que resultam em pressões sobre o balanço de sedimentos e águas em estuários, fluxo de nutrientes e poluentes, além do desmatamento direto das florestas. Os efeitos sobre o ambiente costeiro se dão através da erosão e sedimentação, eutrofização e mudanças nas cadeias alimentares e na estrutura de comunidades (Lacerda, 2002). Entretanto, a avaliação do impacto dessas atividades sobre os manguezais depende de levantamentos detalhados e confiáveis sobre a evolução da área de manguezal ao longo do litoral e da interpretação de sua variação em relação ao desenvolvimento das diferentes atividades antrópicas na região.

Os manguezais apresentam elevada fragilidade frente aos processos naturais e às intervenções humanas na zona costeira, sobretudo aqueles localizados na porção nordeste do Brasil onde as condições climáticas adversas e um processo acelerado de ocupação da zona costeira, que inclui a carcinicultura e a expansão urbana, dentre outras atividades, resultam em pressões ambientais permanentes sobre esses ecossistemas. Tendo em vista a importância sócio-econômica e ambiental dos manguezais e a carência de estudos sistemáticos e de caracterização desse ambiente costeiro no litoral nordeste, foi firmado um acordo de cooperação entre o Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará (LABOMAR-UFC) e a Sociedade Internacional para Ecossistemas de Manguezal (ISME-BR), que contou com o apoio financeiro da Associação Brasileira de Criadores de Camarão – ABCC e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, para estudar a distribuição espacial e área atual dos manguezais dos estados do nordeste.

As estimativas de área total ocupada por manguezais no litoral nordeste brasileiro foram realizadas pioneiramente por Herz (1991), que publicou o primeiro mapa consolidado das áreas de manguezal do Brasil, baseado em imagens de sensoriamento remoto disponíveis para o ano de 1978. Trata-se do estudo mais detalhado publicado até então e que serviu como base para diversos programas de conservação e gerenciamento de recursos pesqueiros. Desde então, vários autores atualizaram aqueles resultados a partir de levantamentos locais e regionais sumarizados por Kjerfve & Lacerda (1993).

Neste estudo, com as devidas atualizações das técnicas, seguimos a mesma sistemática de processamento de produtos de sensores remotos para a avaliação das condições atuais das áreas de manguezais, utilizando produtos do imageamento em níveis orbitais dos satélites Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Ikonos e QuickBird. Através do processamento digital das diversas composições das faixas espectrais é realizado o realce das feições naturais de interesse, que no caso da delimitação das áreas dos manguezais consiste na composição de falsa cor das bandas 432 do Landsat 7 ETM+.

Nos últimos anos, o uso e a ocupação das regiões estuarinas tiveram um grande aumento devido à sua importância econômica para a população litorânea. Em vários países sob clima tropical, as atividades de aquicultura e crescimento urbano aparecem como fatores antrópicos relevantes para a modificação dos processos naturais envolvidos na evolução dos manguezais. No entanto, fenômenos naturais, também estão envolvidos, tais como a migração de dunas e de barras litorâneas em curto prazo, e a flutuação relativa do nível do mar ou as modificações climáticas em prazo mais longo. Esses fatores atuando de forma individual ou em conjunto podem alterar de forma significativa os ecossistemas costeiros. Alterações na intensidade desses processos podem levar a modificação na cobertura de manguezais tornando-se necessário seu monitoramento de forma sistemática.

2.0 – MANGUEZAIS E SUA DISTRIBUIÇÃO

Os mangues correspondem a um tipo de vegetação arbóreo-arbustiva, que se desenvolve principalmente nos solos lamosos dos rios tropicais e subtropicais ao longo da zona de influência das marés, tanto para dentro do estuário, onde as variações de marés impulsionam as águas salgadas do mar para dentro do continente através do canal fluvial, como para as laterais dos rios em zonas sujeitas a inundações ao longo dos estuários. Os manguezais são caracterizados por uma baixa diversidade de espécies arbóreas resistentes às condições halófilas das águas estuarinas ou regiões costeiras com influências de águas marinhas. É um ambiente propício à produção de matéria orgânica, o que garante alimento e proteção natural para a reprodução de diversas espécies marinhas e estuarinas.

Leal (2003), baseado em estudos da região do rio Jaguaribe no litoral leste do estado do Ceará, propõe como componentes da unidade geoambiental denominada de planície fluvio-marinha as porções mais baixas situadas entre as marés baixa e alta inundadas pelo menos duas vezes por dia por água salgada, apresentando solo tipicamente argiloso e rico em matéria orgânica, e que são ocupadas pelos mangues; e as áreas topograficamente mais elevadas que as dos manguezais, mas que são atingidas pelas águas marinhas apenas duas vezes no período de um mês durante as marés de sizígia, que são localmente conhecidas com “salgados” ou apicuns.

A vegetação do tipo mangue é reconhecida pela legislação ambiental nacional como Área de Preservação Permanente pelo Art. 2º da lei 4771/65, que a considera como florestas e demais formas de vegetação natural.

2.1 – Flora

A flora dos manguezais possui características específicas que tornam esses ecossistemas funcional e estruturalmente únicos. Características morfológicas e adaptações das árvores incluem raízes aéreas, dispersão de propágulos pelas correntes controlada pelas marés, rápido crescimento de copa, ausência de anéis de crescimento, eficiente mecanismo de retenção de nutrientes, resistência à ambientes salinos, retentor de água e importante contribuinte no balanço de carbono (Alongi, 2002).

Em todo o mundo existem apenas 28 gêneros e cerca de 70 espécies de mangues, sendo 17 exclusivamente presentes nesse habitat (Tabela 1). Isso reflete uma baixa diversidade genética devido às difíceis condições encontradas nos ambientes que sofrem com as oscilações de marés, onde aparentemente existem menos oportunidades para diversificação e seleção de material genético. No entanto, é impressionante a dominância em todo o mundo do gênero *Rhizophora* L. (Duke *et al.*, 1998).

A presença de manguezais ao nível global restringe-se a zona intertropical entre as latitudes 30° N e 30° S. São limitados pela isoterma de 20°C de temperatura da água do mar, que por sua vez é controlada pelas correntes marinhas e que pode oscilar entre o inverno e o verão (Figura 01). Há exceções expressivas da ocorrência de mangues fora dos

limites subtropicais; nas Bermudas (32°20'N) e Japão (31°22'N), ao sul da Austrália (38°45'S), Nova Zelândia (38°03'S) e ao leste da costa do Sul da África (38°45'S). Dentro dos limites de descritos, os manguezais apresentam distribuição mais restrita na costa oeste das Américas e da África quando comparadas com a costa leste destes continentes. No Oceano Pacífico as áreas de ocorrência dos mangues são limitadas à oeste e estão ausentes em várias ilhas oceânicas (Spalding *et al.*, 1997).

A distribuição das diversas espécies de mangue pode ser observada na Tabela 1 e está baseada na presença e ausência de cada espécie dentro das seis eco-regiões globais, propostas por Spalding *et al.* (1997): (1) Oeste da América; (2) Leste da América; (3) Oeste da África; (4) Leste da África e Madagascar; (5) Indo-Malásia; e (6) Australiana e leste do Pacífico. Além desta divisão, existe ainda outra que divide os dois hemisférios globais, o Atlântico Leste Pacífico (ALP) e o Indo-Oeste Pacífico (IOP). Neste último, a diversidade de espécies é bem maior que a do primeiro hemisfério. Com 58 e 13 espécies naturais de mangues, respectivamente, o IOP tem cerca de quatro vezes mais espécies que o ALP. Em escala global, os mangues são limitados, de maneira geral, pela temperatura, mas na escala regional, a área e a biomassa das florestas de mangue podem variar com relação às condições hidrológicas e oceanográficas, ou seja, em função das diversas condições climáticas e outras variáveis oceanográficas os mangues podem assumir características específicas aos diversos compartimentos geoambientais encontrados pelo mundo.

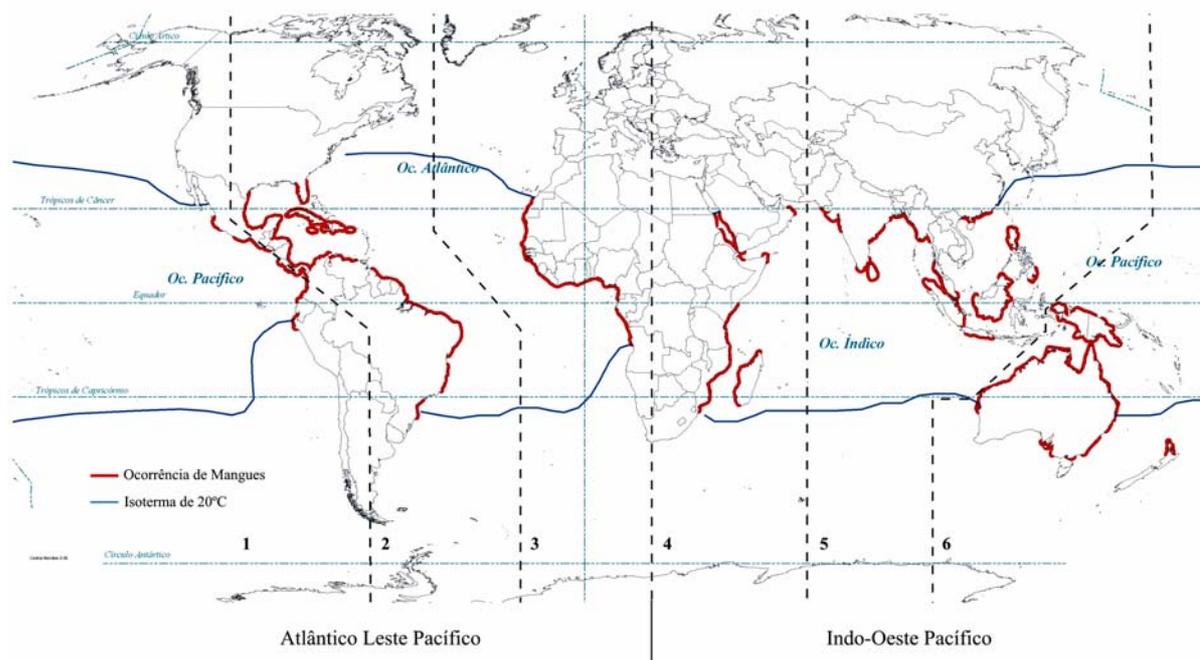


Figura 1 – Distribuição global dos manguezais ao longo das seis regiões biogeográficas, sua distribuição esta associada com a isoterma de 20°C durante o inverno. No verão a duas isotermas migram no sentido dos pólos. Estas também influenciam as correntes marinhas (Adaptado de: Spalding *et al.*, 1997).

No Brasil, o ecossistema manguezal pode ser representado por uma associação de espécies do gênero *Rhizophora*, *Avicennia*, *Lagunculária* e *Conocarpus*. Com certa frequência, também aparecem espécies do gênero *Hibiscus*, *Acrostichum* e *Spartina* (Herz, 1991). No estado do Ceará, esta associação é bastante marcante com variações que são regidas pelas condições ambientais locais, que podem variar ao longo da costa, e pelas

características de uso das respectivas bacias hidrográficas que também impõem condições para o habitat da fauna e flora dos mangues.

Via de regra, as florestas de manguezal do litoral nordeste do Brasil ocorrem como formações de franjas ribeirinhas e, em menor escala, ocupando bacias salinas na planície costeira. Florestas anãs de mangues são comuns em áreas de elevada salinidade. Cinco espécies de árvores de mangue foram registradas na região: *Rhizophora mangle* L., *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leech, *A. germinans* L., *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn e *Conocarpus erectus* L. (Cintrón & Schaeffer-Novelli, 1992; Kjerfve & Lacerda, 1993). Entretanto, dependendo da região uma ou outra espécie pode ser pouco expressiva ou até mesmo ausente. Isso ocorre em função do tamanho da região estuarina e de suas características ambientais. Por exemplo, o barramento artificial ao longo das bacias hidrográficas é apontado como um dos principais causadores de mudança nos padrões de circulação estuarina devido à retenção do aporte de água doce e sedimentos, resultando em alterações na distribuição dos mangues (Lacerda & Marins, 2002). Outro grande modificador das condições ambientais é a dinâmica sedimentar costeira, particularmente afetada por mudanças globais e regionais, que também resultam na alteração da distribuição e na composição dos mangues (Marins *et al.*, 2002).

Na escala local, a ocorrência das diferentes espécies de vegetação é controlada pela salinidade e topografia, que varia bastante entre uma região estuarina e outra dificultando o estabelecimento de um padrão geral de distribuição espacial (Lacerda, 2002). Segue-se uma descrição sucinta das principais espécies de mangue encontradas no litoral do nordeste do Brasil, detalhes da biogeografia destas espécies podem ser encontrados em Kjerfve & Lacerda (1993) e Lacerda (2002).

A *Rhizophora mangle*, também conhecida popularmente como mangue verdadeiro, tem como principal característica suas raízes aéreas que partindo do tronco em formato de arcos, atinge o solo, o que permite uma maior sustentação em solos pouco consolidados. Pode alcançar uma altura de até 19 metros e apresenta um diâmetro médio de 30 centímetros. Localiza-se nas porções de baixas e médias salinidades dentro da zonação estuarina. Ao longo do perfil intermaré ela pode ser encontrada nas porções mais baixas e médias. Sua folha tem formato arredondado e às vezes se mostra com aspecto desgastado. Pode ser encontrada na forma de árvores e arbustos (Figura 2).



Figura 2 – Vegetação típica de manguezal, *Rhizophora mangle*.

O gênero *Avicennia* apresenta duas espécies ocorrentes no litoral cearense, a *A. schaueriana* e a *A. germinans* (Figura 3). São popularmente chamadas de canoé e alcança uma altura média de 11 metros com tronco de 20 centímetros de diâmetro. A diferença básica das duas espécies é a forma das folhas, as de *A. germinans* de formato pontiagudo, enquanto que em *A. schaueriana* as folhas são arredondadas. As duas espécies diferem da *Rhizophora* pelas formas mais regulares de suas raízes que são sub-aéreas e dotadas de pneumatóforos e pela cor verde claro de suas folhas. Ocorrem como árvores e arbustos geralmente na porção baixa do estuário e no perfil intermaré na posição média a alta.



Figura 3 – Detalhe da *Avicennia schaueriana* ainda no estágio de crescimento.



Figura 4 – Detalhe da *Lagunculária racemosa*, rio Cocó, Ceará.

A *Laguncularia racemosa* (Figura 4), conhecida pelos ribeirinhos como mangue branco, pode atingir 12 metros de altura e diâmetro do tronco de 30 centímetros. Sua folha oval apresenta peciolo e nervura central avermelhados com um tom mais escuro que as espécies descritas acima. Estão na porção baixa e intermediária dos estuários e no perfil de marés, na posição de média e alta. Podem se apresentar como arbustos ou árvores.

Conocarpus erectus (Figura 5) é a espécie que habita a porção mais alta do perfil de maré, é encontrada na fração mais arenosa e topograficamente mais elevada do leito do rio e é chamada popularmente de mangue de botão ou ratinho. Pode atingir alturas de até 10 metros, seu tronco atinge um diâmetro de até 30 centímetros e tem forma de “V”, razão pela qual o torna útil na fabricação de pequenas embarcações construídas pela comunidade ribeirinha.



Figura 5 – *Conocarpus erectus*, desenvolvido na porção arenosa do manguezal do rio Jaguaribe, CE.

Tabela 1 – Ocorrência das espécies de plantas dos mangues nas seis regiões biogeográficas (Fig. 01), localização ao longo da zonação do estuário e intermaré e características da forma estrutural (baseada de Tomlinson, 1986).

Gêneros	espécies	Forma Estrutural	Regiões Biogeográficas						Posição no Estuário			Posição Intermaré			
			1	2	3	4	5	6	Inferior	Inter	Sup	Baixo	Médio	alto	
<i>Acanthus</i>	<i>ebracteatus</i>	S					•	•		i				m	h
	<i>ilicifolius</i>	S					•	•		i	u			m	h
<i>Acrostichum</i>	<i>aureum</i>	F	•	•	•	•	•	•		i					h
	<i>danaeifolium</i>	F	•	•						i	u				h
	<i>speciosum</i>	F					•	•		i					h
<i>Aegialitis</i>	<i>annulata</i>	S					•	•	d					m	h
	<i>rotundifolia</i>	S					•			?				?	
<i>Aegiceras</i>	<i>corniculatum</i>	S					•	•		i	u	L			
	<i>floridum</i>	S					•			?			?		
<i>Aglaia</i>	<i>cucullata</i>	T					•				u			m	
<i>Avicennia</i>	<i>alba</i>	T					•	•	d				L	m	
	<i>bicolor</i>	T	•						d						h
	<i>germinans</i>	T	•	•	•				d	i				m	h
	<i>integra</i>	T						•		i			L		
	<i>marina</i>	S/T	•			•	•	•	d	i			L	m	h
	<i>officinalis</i>	T					•	•		i			L		
	<i>rumphiana</i>	T					•	•	d						h
	<i>schaueriana</i>	T		•					d					m	h
<i>Bruguiera</i>	<i>cylindrica</i>	T					•	•	d	i				m	
	<i>exaristata</i>	S/T						•		i	u				h
	<i>gymnorrhiza</i>	T				•	•	•	d	i				m	h
	<i>hainesii</i>	T					•	•		i					h
	<i>parviflora</i>	T					•	•	d	i				m	
	<i>sexangula</i>	T					•	•		i	u			m	h

Continuação da Tabela 1

Gêneros	espécies	Forma Estrutural	Regiões Biogeográficas						Posição no Estuário			Posição Intermaré			
			1	2	3	4	5	6	Inferior	Inter	Sup	Baixo	Médio	Alto	
<i>Camptostemon</i>	<i>philippensis</i>	T					•			?					h
	<i>schultzei</i>	T						•	d	i		L	m		
<i>Ceriops</i>	<i>australis</i>	S/T						•	d	i					h
	<i>decandra</i>	S/T					•	•		i			m		h
	<i>Tagal</i>	S/T					•	•	•	d	i		m		h
<i>Conocarpus</i>	<i>erectus</i>	S/T	•	•	•				d						h
<i>Cynometra</i>	<i>Iripa</i>	S					•	•		i	u				h
<i>Diospyros</i>	<i>littoralis</i>	T						•		i	u		m		h
<i>Dolichandrone</i>	<i>spathacea</i>	T						•	•		u		m		
<i>Excoecaria</i>	<i>agallocha</i>	T					•	•	•	d	i	u		m	h
	<i>Indica</i>	T						•		d	i		L	m	
<i>Heritiera</i>	<i>Fomês</i>	T						•				u			h
	<i>globoas</i>	T						•				u			h
	<i>littoralis</i>	T					•	•	•	i					h
<i>Kandelia</i>	<i>Candel</i>	S/T						•	d			L			
<i>Laguncularia</i>	<i>racemoas</i>	S/T	•	•	•				d	i			m		h
<i>Lumnitzera</i>	<i>littoralis</i>	S/T						•	•		i			m	
	<i>racemoas</i>	S/T								d			m		h
	<i>x rosea</i>	S						•	•		i				h
<i>Mora</i>	<i>oleifera</i>	T	•									u			h
<i>Nypa</i>	<i>fruticans</i>	P		•	•			•	•			u	L	m	h
<i>Osbornia</i>	<i>octodonta</i>	S/T						•	•	d				m	h
<i>Pelliciera</i>	<i>rhizophorae</i>	T	•	•							i	u		m	h
<i>Pemphis</i>	<i>acidula</i>	S						•	•	•	d				h

Continuação da Tabela 1

Gêneros	espécies	Forma Estrutural	Regiões Biogeográficas						Posição no Estuário			Posição Intermaré			
			1	2	3	4	5	6	Inferior	Inter	Sup	Baixo	Médio	Alto	
<i>Rhizophora</i>	<i>apiculata</i>	T					•	•		i				m	
	<i>mangle</i>	S/T	•	•	•				d				l	m	
	<i>mucronata</i>	T				•	•	•		i	u		l	m	
	<i>racemoas</i>	T	•	•	•					i				m	
	<i>samoensis</i>	T					•		d				l	m	
	<i>Stylosa</i>	S/T					•	•	d				l	m	
	<i>x harrisonii</i>	T	•	•	•				d	?			l	?	
	<i>x lamarckii</i>	T				•	•		d	i				m	
	<i>x selada</i>	T					•		?						?
<i>Scyphiphora</i>	<i>hydrophyllacea</i>	S					•	•		i					h
<i>Sonneratia</i>	<i>Alba</i>	T				•	•	•	d				l		
	<i>apetala</i>	T					•				u		l	m	
	<i>caseolaris</i>	T				•	•				u		l		
	<i>griffithii</i>	T					•		d				l		
	<i>lanceolata</i>	T					•	•			u		l		
	<i>Ovata</i>	T					•	•	d						h
	<i>x gulngai</i>	T					•	•		i			l	m	
	<i>x urama</i>	T					•	•		i				m	
	<i>alba x ovata</i>	T					•		?					?	
<i>Tabebuia</i>	<i>palustris</i>	S	•								u		l	m	
<i>Xylocarpus</i>	<i>granatum</i>	T				•	•	•		i				m	h
	<i>mekongensis</i>	T					•	•		i				m	h

Forma: T = árvores, S = arbusto, P = palma, F = samambaia. Regiões biogeográficas: (1) Oeste da América, (2) Leste da América, (3) Oeste da África, (4) Leste da África e Madagascar, (5) Indo-Malásia e (6) Australiana e leste do Pacífico. Posição do Estuário: (d) Inferior, (i) intermediário e (u) Superior. Posição intermaré: (l) baixo, (m) médio e (h) alto. (?) situação duvidosa.

2.2 – Fauna

A fauna dos manguezais é derivada dos ambientes marinhos e terrestres adjacentes. A distribuição é composta principalmente de elementos de origem terrestre como os insetos, aves e mamíferos que ocorrem nas copas das árvores acima da linha d'água e em áreas que não sofrem influências das marés. De maneira geral, estas espécies não apresentam adaptações específicas a este ecossistema, porém, muitas vezes, usufruem-no para alimentação e às vezes para reprodução. Em troca, essa fauna contribui com o insumo de nutrientes através de suas fezes e com a polinização.

Nas áreas que sofrem com a ação das marés se distribuem elementos da fauna tolerante à salinidade, como moluscos, crustáceos e peixes. Os caranguejos como o chama-maré, guaiamum, uçá e aratú (Figura 6), entre outros, vivem nos substratos protegidos pelas raízes dos mangues, alimentando-se de organismos presentes nos sedimentos e folhas. Em períodos de maré alta, os caranguejos se enterram em tocas, o que permite uma circulação de água melhorando as condições anóxicas dos sedimentos lamosos estuarinos.



Figura 6 – Vários indivíduos de *Uca maracoane* se alimentando durante a maré baixa, Barroquinha, Ceará.

De forma geral, a fauna dos ambientes de manguezais pode ser dividida em cinco comunidades principais:

Canais de maré: zona sempre inundada com porções mais profundas e com gradiente de salinidade que diminui da desembocadura do rio em direção ao interior (Sampaio, 2002). Apresenta como principais grupos: Peixes: tainha (*Mugil* spp.), carapeba (*Diapterus*, sp. *Eugerres* sp.); Crustáceos: Siris (*Callinectes* spp.), camarões de água doce e salgada (*Macrobrachium* sp., *Penaeus* spp.); e plancton de origem eminentemente marinha.

Margem de canais de maré: zona descoberta durante o período de maré baixa. Apresenta como principais grupos: Crustáceos Decápodos: Siris (*Callinectes* spp.), camarões de água doce (*Macrobrachium* sp.) e salgada (*Penaeus* spp.), e particularmente caranguejos do gênero *Uca* spp. (Figura 6); moluscos bivalvos: (*Venus* spp., *Anomalocardia brasiliana*, *Crassostrea* spp., *Arca* sp.; *Tagelus plebeius*, *Iphigenia brasiliana*); e conta ainda com a

presença de diversas aves, principalmente garças, gaivotas, gaviões e socós que buscam alimentos nos bancos expostos na maré baixa.

Base dos bosques: áreas sob as copas das árvores e raízes de mangues, onde o substrato é mais duro. Apresenta como principais grupos: Crustáceos decapodes, particularmente *Goniopsis cruentata*, *Ucides cordatus*, *Cardisoma* spp.; moluscos gastópodos, *Neritina* spp., *Bulla* spp., e bivalvos *Mytella* spp.; e nas áreas mais bem preservadas e extensas répteis (jacarés) e mamíferos (guaxinim).

Troncos e raízes aéreas: Superfícies ocupadas por cracas e ostras (*Crassostrea* spp.), gastropodos (*Littorina angulifera*) e com uma flora de algas associadas e líquens crescendo nos troncos, ramos e raízes aéreas.

Copa das árvores: As copas representam uma interface entre o ambiente marinho e o terrestre (Kjerfve & Lacerda, 1993; Lacerda, 2002), insetos, cupins, formigas, grilos, e outros insetos são abundantes. Aves como garças e socós fazem ninhos enquanto que mergulhões, gaivotas, gaviões entre outras aves usam as copas durante a caça. Diversas espécies de cobras e alguns anfíbios também ocorrem neste ambiente. Plantas epífitas, como orquídeas e bromélias, além de musgos e líquens de origem na Mata Atlântica também ocorrem nas copas das árvores de mangue.

2.3 – Distribuição geográfica

As florestas de manguezais do Brasil cobrem aproximadamente 1,38 milhões de hectares (13,800 Km²), o que corresponde a cerca de 50% da área total de mangues das Américas (Kjerfve e Lacerda, 1993) e representa a segunda maior área de manguezal do mundo. As regiões do sul e sudeste da Ásia estão em primeiro lugar com 75,173 Km² (Spalding *et. al.*, 1997). Devido à expressão continental do Brasil, sua extensa linha de costa e larga diversidade de comunidades naturais, incluindo manguezais, o litoral brasileiro pode ser subdividido aproximadamente em quatro setores (Figura 7), com base na climatologia e nos critérios geológicos e geomorfológicos da zona costeira. Esses setores, neste trabalho, são chamados de eco-regiões dentro de uma escala para a costa brasileira, as quais são definidas como um grupo de comunidades naturais que estão geograficamente delimitadas com particularidades na sua dinâmica ecológica na qual as interações ecológicas são processos fundamentais para a manutenção de sua própria sustentabilidade em longo prazo (Lacerda, 2005).

Costa Norte Quaternária

Estende-se do Oiapoque no estado do Amapá até o Rio Parnaíba no Piauí, incluindo o estuário do Rio Amazonas. O clima é tropical-úmido com variação de precipitação anual de 1,200 a 2,800 mm. Apresenta típica distribuição sazonal, com invernos secos e verões chuvosos. Anualmente a temperatura média varia de 24° a 27°C. A costa é caracterizada por extensa planície quaternária dominada por mais de 800.000 ha de florestas de mangue (Herz, 1991) e extensos brejos sob um regime de macromaré (4 a 8 metros). A plataforma continental é também ampla, com aproximadamente 320 km de largura, compreendendo uma área superior a 300.000 km² e é dominada pela Corrente Norte do Brasil (CNB) e pelos fluxos estuarinos dos Rios Amazonas e Orinoco com fortes correntes paralelas à costa, resultando assim numa redistribuição lateral dos sedimentos ao longo da costa (Van Andel, 1967). As entradas de água doce são expressivas e marcadas por um típico padrão de fluxo sazonal unimodal incluindo os Rios Orinoco (vazão aproximada 35,000 m³.s⁻¹), Amazonas e Tocantins (vazão aproximada 135.000 m³.s⁻¹) como os principais contribuintes. A média anual de descarga de água doce é de aproximadamente 190,000 m³.s⁻¹.

Costa Nordeste Semi-árida

Estende-se de Camocim, estado do Ceará (3°65'S) até a Ilha de Itamaracá, Pernambuco (7°30'S). O clima é predominantemente semi-árido, com média anual de precipitação de 800 mm. As entradas de água doce apresentam baixos valores, a média anual da descarga total dos rios é inferior a $1.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, e apresenta grande sazonalidade. A maior descarga de água doce para o mar ocorre na estação chuvosa, em geral no final do ano em dezembro e vai até o mês de maio, ocorrendo o oposto durante a estação seca, de junho a novembro. As feições costeiras são dominadas por praias arenosas, campos de deflação eólica e dunas recentes e antigas, linhas de recifes próximas aos estuários, lagunas e lagoas costeiras. Nesse setor, os mangues ocorrem em pequenas extensões principalmente em estuários onde são afetados por regime de mesomaré (2 a 4 metros). A plataforma continental é bordejada por praias arenosas, com largura estreita variando de 20 a 50 km. Atualmente esta eco-região comporta cerca de 60% da área das fazendas de camarão do país.

Costa Nordeste-Leste Úmida

Corresponde à região costeira entre a Ilha de Itamaracá (7°30'S) até a Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (22°S). O clima é tropical úmido com média anual da precipitação de 1,000 a 1,500 mm. Porém, a porção sul deste setor registra precipitações inferiores a 700 mm, causadas pela ocorrência de ressurgências costeiras.



Figura 7 – Mapa de divisão das eco-regiões brasileiras. Sub-divisão baseada nas características climatológicas, geomorfológicas e geológicas (Baseado em Lacerda, 2005).

Nas proximidades do Estado da Bahia as precipitações são da ordem de 1,800 a 2,400 mm. A zona costeira é caracterizada por extensos planos arenosos quaternários. Mais de 60 lagoas costeiras ocorrem nessa eco-região. Apresenta mudança de regime de mesomaré para micromaré aproximadamente na metade do setor. Os mangues aparecem de forma expressiva nas desembocaduras dos rios e nas costas protegidas. A plataforma continental é bordejada por praias arenosas, com largura estreita variando de 15 a 90 km

estendendo-se até o Banco de Abrolhos (20°S). As descargas dos rios são na ordem de $7,400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tendo o Rio São Francisco como principal contribuinte.

Costa Granítica Sul

Estende-se da Baía de Guanabara no Rio de Janeiro (22°S) até a praia do sonho em Santa Catarina (28°S). O clima é tropical úmido com médias anuais que variam de 1,000 a 1,500 mm. A costa é caracterizada pela ocorrência de afloramentos de rochas graníticas que seguem da Serra do Mar até o oceano, formando um litoral independente com varias baías protegidas e com cobertura total de florestas de mangues de cerca de 50,000 ha. A plataforma é estreita com largura de 20 a 50 Km. Extensões dos corpos graníticos para o mar resultam em mais de 2,000 pequenas ilhas próxima à costa. A entrada de água doce é da ordem de $1,100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Para o sul dessa região, estende-se a costa quaternária sul cerca de 600 Km até o limite com o Uruguai. Com clima temperado, essa região não suporta a existência manguezais. Todos os dados apresentados acima, referentes às condições dos setores ambientais do Brasil, foram compilados por Lacerda (2005) baseado em Lacerda *et al.* (1983) e Knoppers & Ekau (1999).

3.0 – MAPEAMENTO DOS MANGUES

Os primeiros mapas, no sentido moderno do termo, foram usados, particularmente na Europa, por volta dos séculos XV e XVI. Vários desses mapas retratavam as florestas e outras vegetações (e.g. a Cosmographia de Ptolomeu de 1447). Entretanto, os primeiros mapas verdadeiros de vegetação não apareceram antes de meados do século XV, nestes está incluído o Florenreiche von Brazilien de 1858, produzido por von Martius que incluiu uma notação sobre mangues (Spalding *et al.*, 1997).

Vários países cartografam, em seus levantamentos gerais, os mangues como feições lineares ou pontuais apenas indicando a presença ou início e fim de suas ocorrências. A finalidade deste tipo de indicação cartográfica é servir de auxílio à navegação, ou o simples posicionamento deste ecossistema. Porém, isso foi evoluindo para a identificação de áreas de acordo com a acessibilidade de tecnologias de mapeamento. O surgimento de técnicas de registro foto-aéreo e de sensoriamento remoto possibilitou a delimitação em polígonos das áreas de mangues. Representou um grande avanço para os estudos de mudanças climatológicas globais, haja vista a grande vulnerabilidade dos ecossistemas manguezais a estas mudanças. O aumento ou decréscimo das áreas de mangues pode ser usado como indicador de mudanças climáticas ou de processos antrópicos associados ao uso dos recursos do solo e hídricos. O conhecimento dessas áreas em vários países e/ou regiões é de extrema importância para o planejamento e manejo desses recursos. Outro aspecto importante é uso de séries históricas de mapas para estimativas de taxas de diminuição ou aumento das áreas dos bosques de mangues.

O ecossistema manguezal dos estados do Nordeste encontra-se submetido a diversas pressões ambientais no que se refere à utilização de áreas adjacentes aos manguezais, como a expansão imobiliária e a carcinicultura que utiliza as águas estuarinas como corpo receptor de seus efluentes. A discussão dessas importantes questões ambientais atuais, não tem, na maioria das vezes, embasamento científico suficiente para caracterizar seus efeitos sobre as áreas de mangues do Nordeste, sobre o seu aumento ou diminuição e, principalmente, em relação aos fatores responsáveis por essas mudanças. O mapeamento sistemático das áreas de manguezal, apresentado neste trabalho, tem por objetivo dar suporte científico a essas discussões.

3.1 – Introdução aos Problemas Ambientais Comuns aos Estuários

Embora exista uma grande quantidade de estuários, as diferenças fisiográficas e de uso e ocupação do solo fazem com que cada um destes seja considerado como único. A principal característica de similaridade consiste nos problemas ambientais que são comuns a todos, e que consistem principalmente em: sobrecarga de nutrientes, contaminação por organismos patogênicos e substâncias químicas tóxicas, alteração no fluxo de água doce, perda de hábitat e diminuição da biodiversidade. Embora a ausência de estudos sistemáticos nos impeça de tirar conclusões regionais ou nacionais com relação ao estado dos estuários, os problemas mencionados tendem a causar diminuição da qualidade das águas, dos recursos vivos e, em geral, de todo o bem estar do ecossistema. Estes aspectos-chaves de manejo são comuns em algumas zonas costeiras através do país. Portanto, a transferência e o intercâmbio de informações científicas entre as agências ambientais (Nacional, Estaduais e Municipais) e outros atores da zona costeira (Centros de Pesquisa, ONGs, População) é crítico para assegurar o triunfo na restauração e proteção do bem estar dos estuários. Através dos anos o impacto desses problemas é claramente visível. Os agentes patogênicos podem comprometer a aqüicultura e a pesca em geral enquanto que o enriquecimento exagerado de nutrientes contribui para a diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido.

Apesar dos estuários do nordeste do Brasil apresentarem também todos os impactos listados anteriormente, as principais pressões ambientais capazes de plena interpretação por sensoriamento remoto e mapeamento das áreas de manguezais são aqueles impactos que causam alterações nos fluxos hidrodinâmicos e de sedimentos e conversão de áreas de mangue para outros usos, como a carcinicultura e salinas.

O bem estar e a biodiversidade dos sistemas marinhos e estuarinos dependem da manutenção da qualidade destes habitats. As mesmas áreas que freqüentemente atraem o desenvolvimento humano também contribuem com alimento, refúgio, corredor migratório e criatórios para uma variedade de organismos costeiros e marinhos. Em adição, estes também desenvolvem outras funções importantes tais como armazenamento de água e proteção de inundações. Os ecossistemas podem ser degradados através da perda de hábitat tal como a conversão de uma área com algas marinhas em uma ilha de material dragado (e.g. Porto de Suape) ou por alterações na estrutura, função ou composição das comunidades. As ameaças aos habitats incluem a conversão de espaços abertos de terras e bosques para o desenvolvimento comercial e agrícola, construção de estradas, marinas, represas e canalizações. Todas estas atividades podem causar aumento do transporte de sedimentos, nutrientes e substâncias químicas.

Exemplos do Plano Nacional dos Estuários dos EUA (PNE) mostram que a distribuição de pântanos na Baía de Galveston, entre os anos 1950-1989, apresentou uma diminuição de área da ordem de 19% (33.400 acres) em função da sedimentação, contaminação e introdução de espécies exóticas de vegetação. A sedimentação e a invasão de outras espécies vegetais causaram uma deposição na baía Morro na Califórnia de mais de 4 metros, que alterou a hidrodinâmica desta baía, eliminando a maior parte das dunas costeiras de seu entorno, além da perda de 25% da capacidade do fluxo de maré, sendo 66% desta, na área do delta. Evidências de habitats destruídos também são encontrados na Baía Casco e sua bacia hidrográfica em Maine, destacando: o Lago New Meadows que era um estuário e que agora sofre de florescimento de algas devido à diminuição do fluxo das marés; as áreas úmidas de Long Creek que foram totalmente degradadas em função da construção de estradas; quatro represas na parte principal do Rio Roéal que representam barreiras para a pesca; o arroio Capisic que é atualmente intransitável devido a uma represa e à redução do fluxo de água.

A alteração do regime natural de fluxo nos afluentes pode ter efeitos significativos na qualidade das águas e na distribuição dos recursos vivos (fauna e flora) nos estuários recipientes. A água doce é um recurso limitado em muitas regiões do mundo,

incluindo o litoral semi-árido do Nordeste brasileiro. O uso humano desses recursos tem alterado o volume de água em certos estuários, que podem causar impactos de grande magnitude na saúde e na distribuição da biota. A diminuição do fluxo fluvial além de alterar os níveis de salinidade, reduz o transporte de nutrientes e sedimentos que são importantes para a produtividade geral do estuário.

Nos EUA a bacia de drenagem da laguna de "Indian River", na Florida, duplicou de tamanho devido à construção extensiva de sistemas de drenagem. Em função disso, durante o período chuvoso há a entrada de maior quantidade de água doce causando alterações na salinidade, que se reduz em áreas consideráveis. Por outro lado, durante as temporadas secas, ocorre uma diminuição do fluxo fluvial e aumenta significativamente a salinidade. Estas grandes flutuações na salinidade podem afetar adversamente muitas espécies estuarinas que somente sobrevivem dentro de uma variação estreita de salinidade. A área de *Corpus Christi Bay*, Texas, sofreu um período de secas bastante prolongado, reduzindo os níveis das represas e levando toda a região a ser submetida a racionamento. Este manejo que reduziu bastante o fluxo fluvial causou uma grande elevação da salinidade geral do estuário, semelhante ao que ocorreu em grande parte do litoral semi-árido brasileiro devido aos mesmos motivos.

O efeito das alterações nos estuários sobre os manguezais brasileiros é bastante antigo. Data da época das populações indígenas através da exploração dos recursos pesqueiros como atestam os sambaquis encontrados em várias regiões do país. Durante o período colonial, além de fonte de alimento os mangues foram utilizados na produção de lenha e para extração de tanino. A extração de madeira de manguezal era tão intensa que o Rei Dom José teve que proibir por decreto em 1760 o seu corte para lenha, reservando seu uso somente para a produção de tanino extraído de suas cascas e utilizado na curtição de couro (Cunha, 2004).

Até as primeiras décadas do século XX, os manguezais eram explorados de maneira pouco intensa pela pesca, construção de viveiros para aquicultura extensiva, extração para construções caiçaras e marambaias e construção civil. Nesse período, extensas áreas de manguezais no Nordeste começaram a ser substituídas por salinas. A partir da década de 50 este ecossistema começou a ser submetido à intensa pressão ambiental oriunda da expansão imobiliária e industrial. Grandes superfícies foram degradadas para facilitar a construção de polígonos minero-metalúrgicos e industriais, como o caso de São Luís (MA), Belém (PA), Aracajú (SE) e Suape (PE). A partir da década de 70 a queda do preço do sal fez com que as áreas com menores produções fossem abandonadas, e com o passar dos anos alcançou a maior parte dos empreendimentos existentes no nordeste, particularmente nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Atualmente, esta atividade está concentrada no Estado do Rio Grande do Norte, mais precisamente nos estuários dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu.

Ainda nesta década, as áreas abandonadas e que já estavam preparadas foram prioritariamente ocupadas pela atividade da carcinicultura, que se iniciou no Rio Grande do Norte durante o governo de Cortez Pereira. Outros estados como Pernambuco, Ceará, Paraíba e Bahia implantaram viveiros para cultivos de camarões marinhos, predominantemente da espécie exótica *Litopenaeus vannamei*, no mesmo período. O censo realizado pela Associação Brasileira dos Criadores de Camarão (ABCC) em 2004, para a carcinicultura brasileira, mostra que na atualidade existem 16.598 hectares (165,98 Km²) de áreas cultivadas no país, sendo cerca de 75% localizadas em 5 estados da região Nordeste: 6.281 ha (no Rio Grande do Norte); 3.804 ha (no Ceará); 1.108 ha (no Pernambuco); 751 ha (no Piauí); e 630 ha (na Paraíba).

4.0 – JUSTIFICATIVA

Os manguezais são responsáveis por uma função significativa na produção pesqueira na zona costeira, sendo fundamental para o desenvolvimento de atividades sócio-

econômicas associadas à pesca artesanal e à exploração sustentável dos recursos renováveis costeiros. Assim, este trabalho é justificado principalmente pela insuficiência nos estudos realizados nesse ecossistema, sobretudo no que se refere à distribuição estrutural e associações com o uso do solo relacionado ao desenvolvimento das atividades antrópicas, em particular a carcinicultura na região Nordeste do Brasil.

Herz (1991) publicou o primeiro mapa consolidado das áreas de manguezal do Brasil, baseado em imagens de sensoriamento remoto disponíveis para o ano de 1978 e quantificou as áreas onde há sua ocorrência (Figura 8). De acordo com as compartimentações regionais propostas por Herz (1991), o Brasil apresenta uma divisão de áreas de manguezais em 60% para Região Norte, 10% para Região Nordeste e 30% para as regiões Sudeste e Sul, sobre uma área total de 10.123,76 Km².

Desde então, a pressão antrópica sobre manguezais vem aumentando significativamente. Por exemplo, o aumento da população na região costeira, da ordem de 20%, ocasionou uma expansão desordenada de áreas urbanas, da mesma forma a atividade turística e a expansão industrial também alteraram significativamente a região costeira.

O nordeste brasileiro produz cerca de 90% do camarão criado em cativeiro (ABCC, 2004) sobre um total de 75.904 toneladas, com uma produtividade média de 4.573 Kg/ha/ano. No quadro geral evolutivo, o censo mostra uma tendência de crescimento do setor, no ano de 1997 a produção foi de 3.600 toneladas saltando para 75.904 toneladas em 2004. Essa condição coloca o Brasil como líder no hemisfério em produção, superando o Equador e México (ABCC, 2004).

Finalmente, a barragem de rios para o uso das águas pela população crescente e na agroindústria ávida por esse recurso, tem levado a um desequilíbrio da morfologia costeira devido à diminuição dos fluxos de água e sedimentos para o mar.

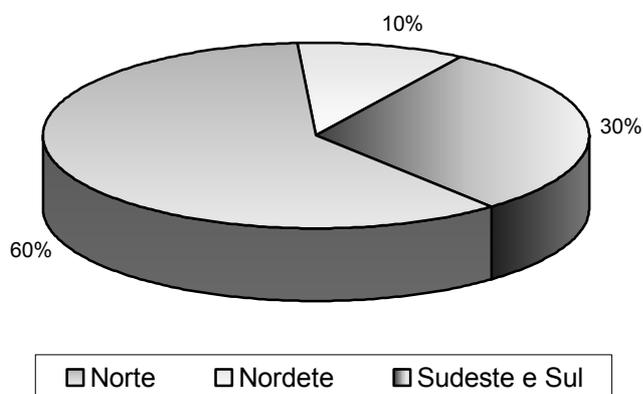


Figura 8 – Distribuição do percentual de área ocupada por manguezais no Brasil. Fonte: Herz (1991).

Portanto, o reconhecimento da estrutura funcional dos manguezais é de extrema importância para o entendimento da sua influência sobre a produtividade das águas estuarinas e costeiras, além de contribuir com ações de planejamento, manejo e preservação da zona litorânea.

5.0 – OBJETIVOS

O objetivo principal do presente estudo é o mapeamento das áreas de manguezais da faixa costeira entre os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco no Nordeste brasileiro, utilizando técnicas e ferramentas de processamento digital de imagens (PDI) para identificação dos prováveis compartimentos e unidades captados pelos sensores remotos, que tenham expressão espacial detectado pela metodologia utilizada e que estejam associados diretamente com o ecossistema manguezal. As informações produzidas foram aplicadas a um sistema de informação geográfica (SIG) para análises espaciais, possibilitando tomadas de decisão sobre questões ambientais referentes.

Com esta técnica foi possível calcular as áreas dos campos de manguezais e comparar com as áreas mapeadas por Herz (1991). Esta comparação será fundamental para definir a evolução do ecossistema manguezal nordestino, sobretudo dentro da área de estudo, com relação ao seu aumento ou decréscimo de área total.

6.0 – ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende os estuários e lagunas dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco (Figura 9). Foram identificadas 48 florestas de manguezal, sendo 3 no Piauí, 20 no Ceará, 6 no Rio Grande do Norte, 8 na Paraíba e 11 em Pernambuco. Para análise das áreas de mangues referente ao complexo estuarino composto pelos rios Timonha, Ubatuta e Chapada, do estado do Ceará, e Caripina e Gargalho do estado do Piauí, foi admitido como sendo uma área única e pertencendo ao estado do Ceará. Esta divisão foi também utilizada por Herz (1991).

7.0 – METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizadas as imagens digitais multiespectrais do satélite Landsat 7 ETM+ na faixa espectral do visível-infravermelho (VISIR, com resolução espacial de 30 metros) e pancromática (PAN com resolução espacial de 15 m), georeferenciadas para o datum horizontal SAD 69; e as imagens do satélite IKONOS na faixa espectral do visível-infravermelho (VISIR, com resolução espacial de 4 metros), e pancromática (PAN com resolução espacial de 1 m), georeferenciadas para o datum WGS 84. As imagens foram selecionadas admitindo um baixo índice de nebulosidade e com datas de geração pelo satélite em anos mais recentes possíveis, para dar ao mapeamento um caráter bem atual.

O software para processamento digital das imagens foi o ENVI *The Environment for Visualizing Images* versão 3.5 e para a integração de dados georreferenciados o software ArcGIS versão 8.1.

As atividades de geoprocessamento envolveram o processamento digital de imagens de sensoriamento remoto e a integração de dados em estrutura de SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Em seguida 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 às áreas de manguezais e áreas de carcinicultura. Essas imagens coloridas, quando combinadas às imagens provenientes das filtragens direcionais, contribuíram na detecção visual de linhas e bordas, provavelmente marcadoras dos limites entre as unidades. Nas imagens digitais monocanais e coloridas resultantes, foram aplicados os procedimentos de interpretação visual, utilizando as variações de cor, brilho e intensidade dos pixels na determinação espacial detalhada dos elementos da

paisagem. Também foram utilizados os procedimentos automáticos de detecção disponíveis nos softwares.

As imagens resultantes das diversas composições entre as bandas espectrais propiciam, para o caso dos estuários, uma excelente discriminação das principais unidades de paisagem. Como referência de base para a identificação das feições, admitiu-se as composições das bandas espectrais LANDSAT: 432, 543, 321 e 752, todas sob sistema RGB (Red, Green e Blue). Para melhor obtenção na definição dos contornos foi utilizada a Banda 8 de resolução pancromática (15 metros) para o satélite LANDSAT 7 ETM+.

O sensor IKONOS foi utilizado para as regiões da Lagoa de Guarairas (imagem de abril de 2003) e para o estuário do rio Curimataú (imagem de julho de 2003) no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, nos quais estão localizados dentro da área da cena 241-64. As imagens de alta resolução espacial foram utilizadas também para os estuários de Apodi-Mossoró e Macau-Guamaré no Estado do Rio Grande do Norte para a distinção de áreas de carcinicultura e salinas, pela identificação visual de aeradores e outros equipamentos e estruturas inerentes a estes empreendimentos. Imagens do QuickBird foram usadas para a identificação das áreas de carcinicultura de Icapuí, Ceará.

Para otimização dos trabalhos na base estrutural do software ArcGIS, os projetos foram divididos de acordo com as cenas Landsat (Figura 10). Os mangues e fazendas de camarão estão identificados e situados geograficamente de acordo com os seus respectivos estuários, possibilitando uma análise espacial mais ágil.

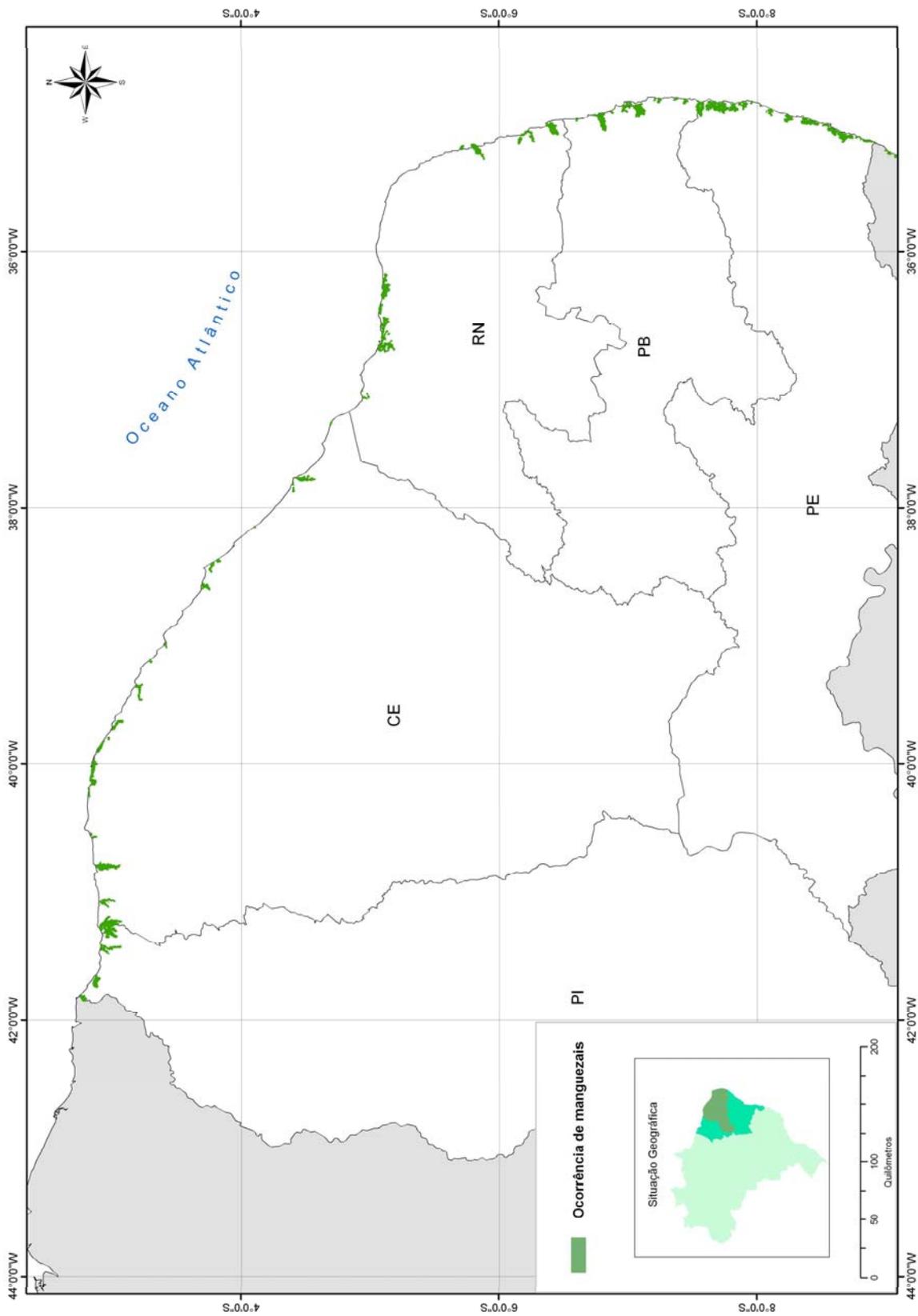


Figura 9– Mapa de localização da área de estudo e ocorrências dos campos de manguezais.

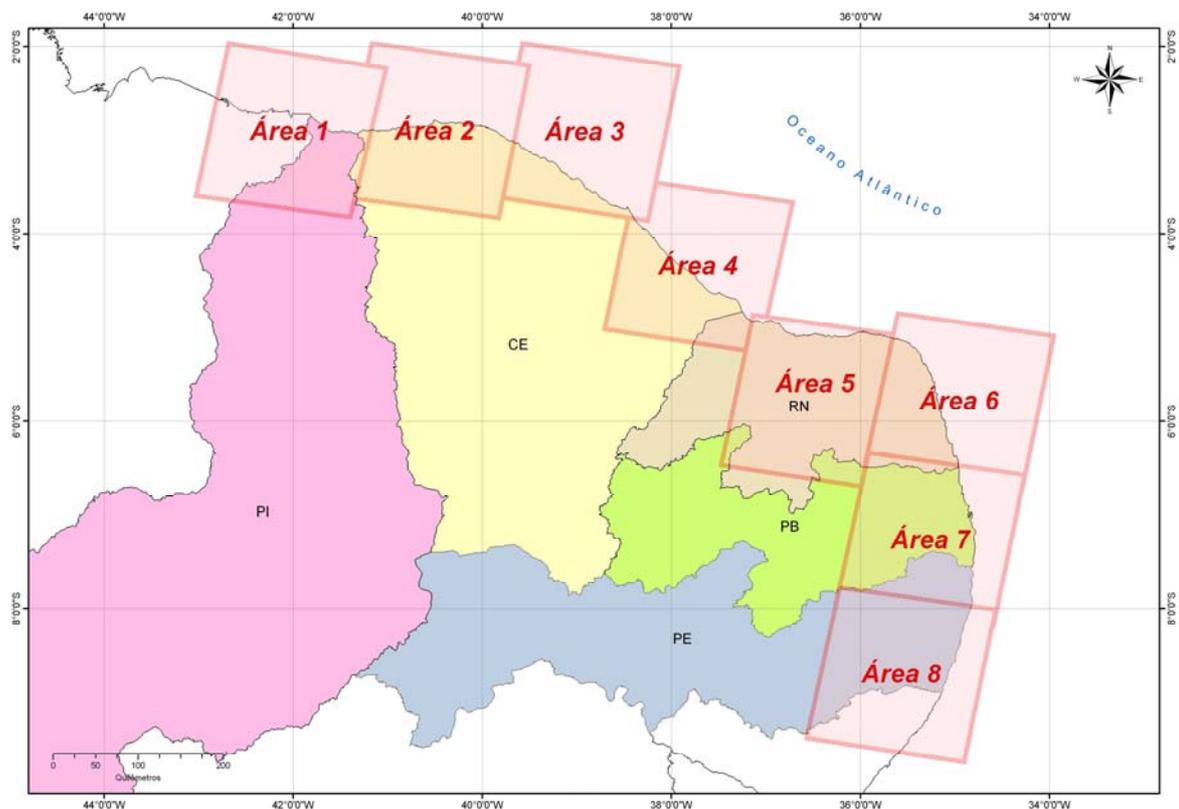


Figura 10 – Mapa de localização das áreas definidas para a estruturação do sistema de informação geográfica, baseada na disposição das cenas da órbita do satélite Landsat.

7.1 – Sensor LANDSAT 7 ETM+

O Landsat 7 é o mais recente satélite em operação do programa Landsat, financiado pelo Governo Americano. Este satélite foi lançado em abril de 1999, com um sensor a bordo chamado de ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus* – Mapeador Temático de Maior Realce). As imagens LANDSAT 7 ETM+ são compostas por 8 bandas espectrais que podem ser combinadas formando diversas composições coloridas a fim de realçar as feições de interesse. Entre as principais melhorias técnicas, se comparado ao seu antecessor, no satélite LANDSAT 5 TM destaca-se a banda espectral 8 (banda Pancromática) com resolução de 15 m, perfeitamente registrada com as demais bandas; melhorias nas características geométricas e radiométricas e o aumento da resolução espacial da banda termal para 60 m. Esses avanços tecnológicos permitem qualificar o LANDSAT 7 como sendo o satélite mais interessante para a geração de imagens de satélites com aplicações diretas até a escala 1:25.000. Com relação a outros sensores de média resolução (15 a 30 metros), o LANDSAT 7 ETM+ dispõe de imagens com melhor relação custo/benefício dos dados gerados a partir delas.

O satélite referido abrange uma área de aquisição que vai de 81° norte a 81° sul de latitude ao redor do mundo. O ciclo orbital do LANDSAT 7 é em torno de 99 minutos dando, portanto, 14 voltas pela Terra. Isso possibilita reamostragens a cada 16 dias. A área de cobertura é de 185x185 km por cena. A banda Pancromática (banda 8) é a grande novidade no LANDSAT 7. Tem resolução espacial de 15 metros, que possibilita ampliações até escala 1:25.000 das imagens. Trabalha na faixa espectral de 0.52 - 0.90 (μ) (Quadro 1) gerando uma imagem de boa definição dos alvos de interesse.

Quadro 1 – Quadro comparativo dos comprimentos de onda (μ) das bandas espectrais dos sensores LANDSAT.

Sensor	1	2	3	4	5	6	7	8
TM	0.45	0.52	0.63	0.76	1.55	10.4	2.08	-
	0.52	0.60	0.69	0.90	1.75	12.5	2.35	-
ETM+	0.45	0.53	0.63	0.78	1.55	10.4	2.09	0.52
	0.52	0.61	0.69	0.90	1.75	12.5	2.35	0.90

O Landsat 7 gera a banda 6 com ganho baixo (Canal 6L) e ganho alto (Canal 6H), o que permite várias opções de análise e aplicações, tais como a medição relativa de temperatura radiante ou o cálculo de temperatura absoluta.

7.1.1 – Interpretação da composição RGB 432

Ao utilizar a composição RGB 432 Landsat 7 ETM+, os tipos de cobertura vegetal estão bem diferenciados com as áreas de manguezais em tons de vermelho escuro, rugosidade média, e aparecem compondo aglomerados e/ou faixas estreitas às margens das principais drenagens que mantêm comunicação direta com a água do mar (Figura 11).

Os manguezais degradados destacam-se facilmente pela coloração de marrom-escuro a preto, mantendo, contudo, a rugosidade média freqüentemente bordejada por uma estreita faixa de manguezais vivos.

As áreas de caatinga arbustiva-arbórea fechada e de caatinga arbórea fechada, por vezes indistintas, e por isso definida como mata de caatinga densa, ocorrem com coloração vermelho vivo e rugosidade média a fina. As áreas de caatinga arbustiva-arbórea aberta são descritas como caatinga rala, são marcadas pela coloração marrom-avermelhado e rugosidade média, decorrente da participação de solo e rocha expostos nas respostas espectrais dessas porções do terreno.

As áreas de solo exposto e com pouca vegetação, quando presentes nas áreas com substrato dos litotipos da Formação Barreiras, mostram-se com alta rugosidade e tons de marrom-avermelhado a marrom-claro decorrentes da ampla participação de rochas desagregadas, material argiloso e rico em óxidos e hidróxidos de ferro. Nas áreas onde a vegetação foi totalmente retirada e os terrenos aplainados para construção de obras de engenharia (áreas industriais, assentamentos, expansão de cidades, etc), o solo exposto mostra-se com coloração variável de marrom-claro a azul, dependendo do tipo litológico no substrato, mas a detecção é facilitada devido à forma freqüentemente poligonal.

As áreas urbanas mostram-se também com coloração variando de bege a azul, devido à grande quantidade de solo/obras exposto, mas com textura em grade que caracteriza os arruamentos, e algumas concentrações que denotam a presença de bosques e parques com vegetação. As áreas de planície de inundação das drenagens são marcadas por tons de azul claro, devido aos bancos de areia por vezes com água ou alguma umidade. As planícies de maré próximas às zonas costeiras assumem cores variáveis de marrom e azul esverdeado, devido à maior participação de material lamoso e umidade alta.



Figura 11 – Composição RGB 432 do LANDSAT 7 ETM+ (agosto de 2002), Imagem da desembocadura do rio Jaguaribe-CE. Observar áreas de manguezais em tons de vermelho escuro na margem direita do rio.

Os campos de dunas móveis são tipicamente marcados por cores que variam do branco ao amarelo-claro, devido à presença de areias não-consolidadas e ausência de vegetação, por vezes com formas de cordões e barcanas que denotam a orientação dos ventos na região. As depressões interdunares e a planície de deflação, com lagoas e/ou vegetação rasteira, mostram coloração marrom avermelhadas.

As zonas de praias assumem cores que variam de branco, quando presente areia livre e seca, a marrom azulado, quando apresentam alguma umidade ou estão ainda sob influência das alturas das marés. As águas oceânicas apresentam coloração variando de azul marinho, azul anil à azul claro, à medida que se aproximam da faixa litorânea, variação decorrente da diminuição da profundidade e aumento na quantidade de sedimentos em suspensão próximo à linha de costa.

7.1.2 – Interpretação da composição RGB 543

Esta composição espectral é muito difundida para trabalhos relativos a zoneamento do uso e ocupação do solo, tendo em vista a percepção de feições geográficas expostas. É a composição mais utilizada na identificação de antropismo como zonas urbanas, loteamentos ou regiões que sofreram intervenção humana que podem ser representadas por uma coloração rósea com leves tons de cor marrom e limites pouco sinuosos. Os loteamentos podem se apresentar com tons esverdeados, variando com o

percentual de áreas desmatadas, vegetação de planície fluvial, flúvio-marinha ou de inundação com coloração rósea azulada tendendo para lilás quando circundam corpos d'água, e em função de suas profundidades as tonalidades podem variar de azul claro a escuro (Figura 12). Não é recomendada a utilização dessa composição de cores para o reconhecimento de diversos tipos de vegetação, principalmente a distinção de mangue e vegetação de tabuleiro, ou mesmo a diferenciação dos tipos de mangue: degradado, denso ou pouco denso, entre outros.

7.1.3 – Interpretação da composição RGB 321

Esta composição corresponde à visualização mais próxima à natural, como se observássemos as feições terrestres dentro de uma aeronave em voo. Também permite a visualização das feições marinhas submersas rasas e plumas de descargas dos rios.

Apresenta-se bastante importante na identificação dos limites de zonas urbanas, ocupação, afloramentos rochosos, mas principalmente para a identificação do uso do solo. Os manguezais se apresentam de baixa rugosidade e tons esverdeados muito escuros. Distinguem-se dos outros tipos de vegetação que circundam os mangues pela presença de água na planície flúvio-marinha, os corpos d'água, como lagoas ou açudes, apresentam índices de reflectância muito próximos dos campos alagados marinhos. Solos expostos aparecem bem marcados com cores claras que variam de amarelo a branco.

As plumas de sedimentos da deriva litorânea são bem marcadas pela diferença de cor entre os sedimentos em suspensão, que estão próximo à costa, e o azul "oceânico" das porções mais distantes. Essa coloração azul esbranquiçada pode ficar mais escura ou mais intensa em função do aumento das descargas fluviais em períodos mais chuvosos. Além da diferenciação de cor, a zona da deriva litorânea também é marcada por estruturas em forma de vórtices das manchas. Tais estruturas se formam pela própria dinâmica das correntes marinhas e clima de ondas atuantes na zona costeira, pela presença de ilhas ou de bancos arenosos ao fundo (Figura 13).

Os recifes são principalmente realçados pela espuma formada pela arrebentação das ondas, logo após sua ocorrência. Também se podem observar manchas amareladas com nuances da cor verde pela presença das algas que compõem os recifes.

Em alguns casos, a utilização da técnica de realce no processamento digital de imagens pode aumentar ainda mais o nível de resolução espectral.

7.1.4 – Interpretação da composição RGB 752

Esta composição realça as planícies fluviais e flúvio-marinha em comparação às vegetações de tabuleiro ou outras que as circundam. As diferenciações das tonalidades de verde para os tipos de vegetação se ampliam muito quando comparadas às regiões estuarinas com zonas vizinhas a estes ecossistemas, que se apresentam com coloração verde escuro. Também se mostra muito eficiente para o mapeamento das zonas urbanas que se distinguem com bastante contraste entre as outras feições pela cor amarela queimado.

Tem como principal objetivo o uso desta composição a identificação de áreas aterradas em zonas de manguezais e os limites da planície flúvio-marinha com a planície fluvial. É também utilizada para estudos em escalas regional para geologia estrutural.



Figura 12 – Composição RGB 543 do LANDSAT 7 ETM+ de 2001, Imagem da região de Macau-RN. As zonas alagadas têm resposta espectral em tons lilás a róseo.

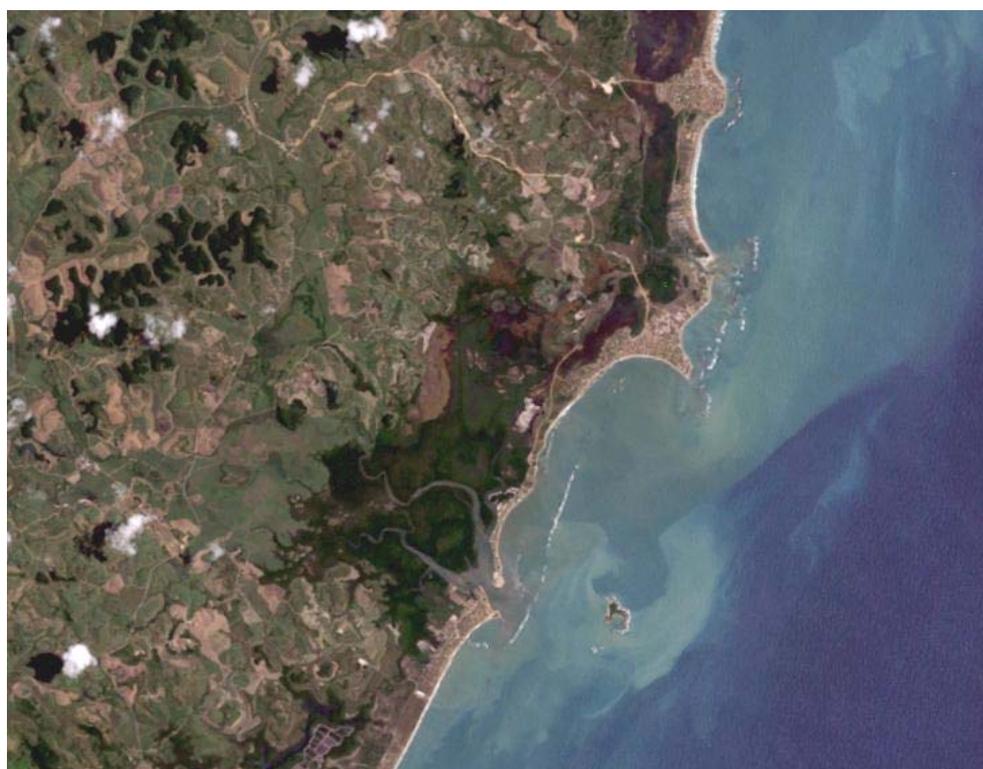


Figura 13 – Composição RGB 321 do LANDSAT 7 ETM+ 2001, imagem da região do estuário do rio Sirinhaém, Pernambuco. No detalhe as plumas de sedimentos em suspensão e realce da planície flúvio-marinha.

7.1.5 – Banda 8 Landsat 7 ETM+

A banda espectral 8 do satélite Landsat 7 ETM+ tem resolução geométrica pancromática, ou seja, em quanto as outras 7 bandas espectrais apresentam resolução de 30 metros, a pancromática tem resolução 15 metros (Figura 14). Quando o mapeamento é realizado utilizando as ferramentas de sensoriamento remoto com as imagens LANDSAT, nos é permitido a produção de cartas numa resolução escalar de 1:50.000, e quando utilizamos a acuidade da banda 8 (pancromática) a escala do mapeamento pode alcançar escalas maiores que 1:25.000.

As delineações dos limites das feições identificadas são realizadas a partir dessa banda pancromática, dando mais precisão na definição dos limites e cálculos de área.

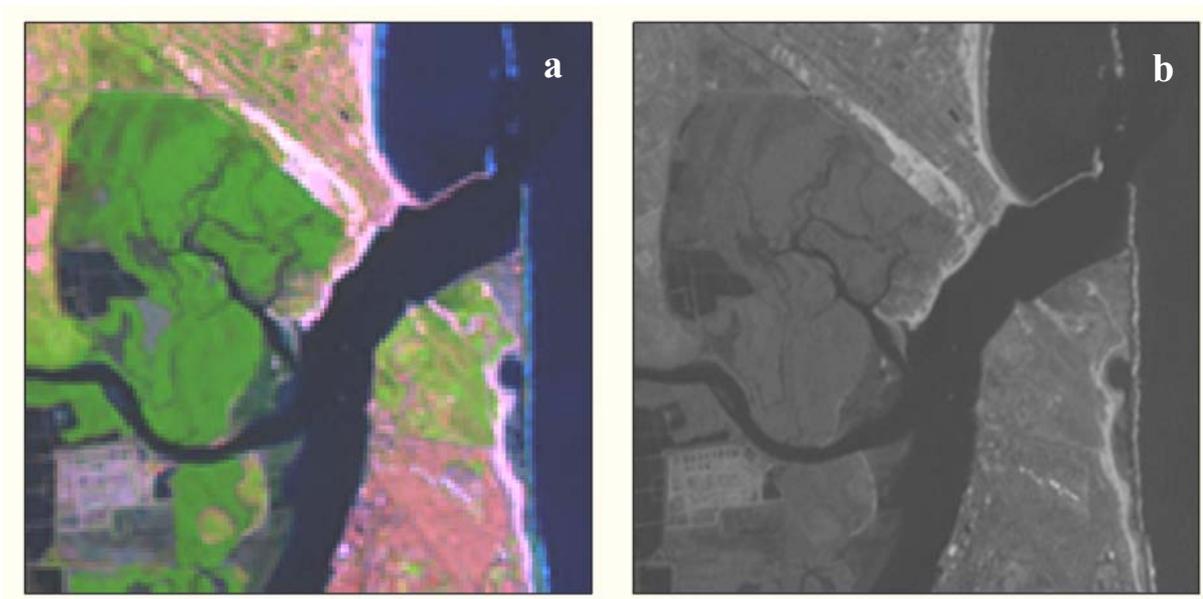


Figura 14 – Foz do rio Potengi no estado do Rio Grande do Norte, a) LANDSAT RGB 543 resolução espacial de 30 metros. b) LANDSAT Banda 8 resolução espacial de 15 metros, maior definição nos contornos das feições geográficas presentes nas imagens.

7.2 – Ikonos

O satélite Ikonos, lançado em órbita no dia 24 de setembro de 1999 e operando desde janeiro de 2000, tinha como objetivo atender necessidades militares por sua capacidade de gerar imagens com resolução de 1 metro.

São imagens muito difundidas, atualmente, no uso de planejamento urbano, base para elaboração de SIGs, meio ambiente entre outras inúmeras atribuições. Capazes de representar feições de no mínimo 1 metro quadrado tornam-se a maior ferramenta em estudos com sensoriamento remoto em escalas de detalhe, estas imagens oferecem mapeamento em escala de até 1:2.500 (Figura 16).

O produto desse sensor de alta resolução é composto de quatro bandas espectrais, com resolução espacial de 4 metros para composições multiespectrais dentro do campo visível do espectro de cor. Associado à banda pancromática, sua quarta banda, atinge níveis escalares de 1 metro de resolução. Essas imagens foram utilizadas para a Lagoa de Guaraíras e Curimataú, no estado Rio Grande do Norte, para delimitação dos campos de mangues e de carcinicultura devido à insuficiência visual causada pelas nuvens e suas sombras.

Para as regiões estuarinas de Apodi-Mossoró e Macau-Guamaré, as imagens desse sensor foram utilizadas para a distinção entre as áreas destinadas à produção de sal e à carcinicultura, onde as fazendas de camarão trazem com atributos específicos a presença de aeradores e apresentam formas mais regulares dos tanques viveiros de aproximadamente 1 a 2 hectares. As fazendas de produção de sal, as salinas, ocorrem em grandes áreas com tanques que podem alcançar áreas superiores a 400 hectares. A estrutura de uma indústria de produção salina também trás em sua infra-estrutura tanques cristalizadores com áreas inferiores a 1 hectare. Apesar da diferenciação no formato e nas áreas dos tanques de salina e os viveiros de camarão, em alguns casos são utilizados antigos tanques de salinas para a produção de camarão.



Figura 15 – Extrato de uma imagem Ikonos de composição RGB com resolução espacial de 1,0 metro. Rio Curimataú, extremo sul do Rio Grande do Norte, 2003. Detalhes da resolução deste produto onde é possível observar os aeradores nos viveiros de camarão na ampliação mais à esquerda, e o píer com duas embarcações à direita.

7.3 – QuickBird

O sensor remoto, mais recente, capaz de capturar imagens da Terra com resolução espacial de alta precisão, foi lançado em outubro de 2001 e tem o objetivo de dar suporte nas aplicações de gerenciamento urbano ou rural, avaliação de riscos ambientais, levantamentos cadastrais ou mapeamentos em escala de detalhe dentre outros mais específicos. O sistema é composto por três bandas espectrais do campo visível, com resolução espacial de 2,6 metros, mais uma banda pancromática que reduz o tamanho do pixel (unidade mínima que compõe a imagem) a 0,6 metros.

Este sensor foi utilizado com o mesmo propósito do Ikonos, distinguir áreas de salinas das de carcinicultura para a região de Icapuí no extremo leste do litoral cearense.

7.4 – Delimitação dos Manguezais

Após a interpretação e análise dos produtos de processamento digital das imagens, foram realizadas algumas campanhas de campo para checagem das feições mapeadas e tomada de pontos de controle para aferição das unidades naturais de interesse.

As imagens devidamente georreferenciadas são salvas no formato GEOTIFF e posteriormente carregadas no Software ArcGIS 8.1. A partir daí são traçados os limites estruturais dos mangues e das fazendas de carcinicultura onde as áreas estão sendo calculadas, para cada setor individualizado, o somatório resulta em áreas totais por estuários que é o objetivo deste estudo. As áreas definidas são, então, comparadas com o trabalho de Herz (1991) para interpretação da expansão ou recuo dos campos de manguezais. Também foram definidas as áreas atualmente ocupadas pela carcinicultura. Foram ainda identificados campos de dunas móveis e hidrografia (Figura 16).

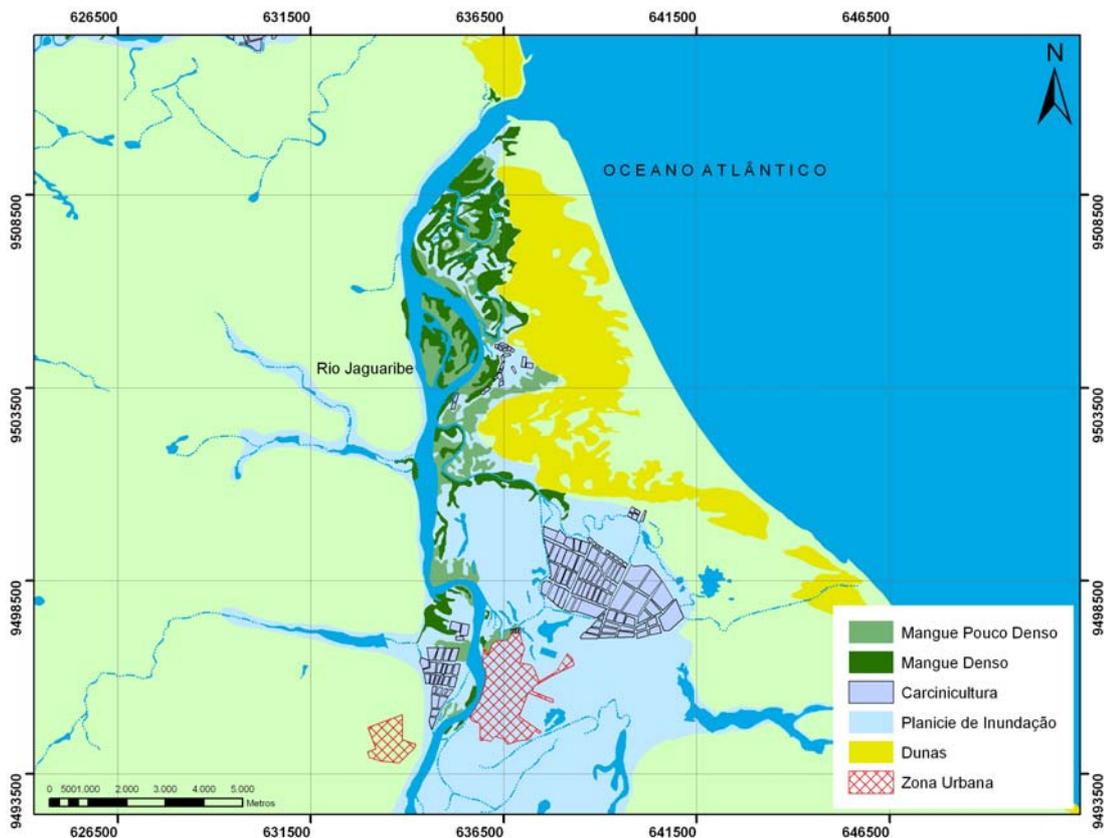


Figura 16 – Estuário do rio Jaguaribe (CE), mapeado a partir da combinação entre as composições coloridas RGB 543 e 432 LANDSAT 7ETM+, e fusão com a banda 8 (Resolução de 15m).

7.5 – Cálculos de Áreas

Herz (1991), entre outros pesquisadores, documentou vários experimentos realizados na região estuarina de Cananéia-Iguape e restante da costa brasileira desde o litoral sul de Santa Catarina. Com isso ele aferiu os cálculos de áreas dos campos de mangue em escala de 1:250.000 tendo por base as fotocartas editadas pelo projeto RADAMBRASIL (1978). O processo de digitalização planimétrica baseada na observação visual, quando correlacionado com os outros métodos e técnicas utilizando outros sensores, apresentou excelentes índices pela amostragem comparativa. Porém, o método utilizado para o mapeamento das áreas de manguezais do Brasil desconsidera superfícies com áreas inferiores a 0,5 Km². Mesmo com essa insuficiência de macro escala, a informação gerada neste trabalho tem como principal característica o pioneirismo.

Foram feitas outras estimativas das áreas de mangues para o Brasil, Kjerfve e Lacerda (1993) estimaram uma área de 13.800 Km², Herz (1991) calculou uma área de 10.123,76 Km². A comparação das áreas de manguezal obtidas por sensoriamento remoto no trabalho de Herz (1991) com os levantamentos de Freire & Oliveira (1993), baseado em relatórios locais e regionais, e com os resultados obtidos neste estudo, pode ser vista na tabela 2. Nas duas avaliações obtidas pela interpretação de imagens de satélite (Herz, 1991, e este estudo), as maiores áreas ocorrem no Estado do Ceará, seguido pelos estados do Rio Grande do Norte e Pernambuco, as menores localizam-se nos estados da Paraíba e Piauí. Uma avaliação da evolução das áreas de manguezal mostra um aumento variando de 15% a 36% na área total, quando comparados os resultados atuais com aqueles de Freire & Oliveira (1993) e Herz (1991), respectivamente.

Tabela 2 – Área de manguezais nos estados do PI, CE, RN, PB e PE de acordo com o levantamento por sensoriamento remoto de Herz (1991), e de levantamentos locais e regionais (Freire & Oliveira, 1993) e aquelas obtidas no presente estudo. (Valores em km²).* A comparação inclui apenas as áreas mapeadas por Herz (1991), portanto ligeiramente menores que as áreas atuais de manguezais medidas neste estudo.

Estado	Herz (1978)	Freire & Oliveira (1993)	Este estudo (1999-2004)	Variação (km ²)		Variação (%)	
	A	B	C*	(C-A)	(C-B)	(C-A)	(C-B)
PI	29,94	43,70	40,40	(+10,46)	– (-3,30)	(+35)	– (-8)
CE	140,43	229,40	176,58	(+36,15)	– (-55,37)	(+26)	– (-24)
RN	108,19	69,90	129,71	(+21,52)	– (+59,81)	(+20)	– (+86)
PB	68,88	100,80	96,31	(+27,43)	– (-4,49)	(+40)	– (-5)
PE	96,61	78,10	161,38	(+64,77)	– (+83,28)	(+67)	– (+107)
Total	444,04	521,90	604,38	(+160,34)	– (+79,93)	(+36)	– (+15)

*Estudos anteriores realizados pelo LABOMAR-UFC apresentaram 172,17 Km² de áreas de mangues para o estado do Ceará, o valor expresso na tabela acima inclui os mangues que ocorrem na região do Iguape e o estuário do rio Mal Cozinhado, e foi considerada a área do rio Acaraú do ano de 2001 onde não havia nuvens sobre o estuário.

7.6 – Descrição da área de estudo

De acordo com a disposição das cenas do satélite Landsat que recobrem os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco foram definidas áreas por cenas. Numa ordem crescente, no sentido de norte para sul, estão dispostas as

cenos 219-62, 218-62, 217-62, 216-63, 215-64, 214-64, 214-65 e 214-66, as quais correspondem às áreas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 respectivamente (Figura 11).

Para fins computacionais definiu-se que cada cena representa um projeto gerado no software *ArcGIS* versão 8.1. Logo, todos os dados gerados estão geo-referenciados baseados no datum horizontal *South American 1969* (SAD-69).

- **Área 1**, cena 219-62 – Piauí
- **Área 2**, cena 218-62 – Extremo oeste da costa do Ceará
- **Área 3**, cena 217-62 – Porção oeste da costa cearense
- **Área 4**, cena 216-63 – Costa leste do Ceará e Rio Mossoró/RN
- **Área 5**, cena 215-64 – Litoral norte do Rio Grande do Norte
- **Área 6**, cena 214-64 – Litoral Oriental do Rio Grande do Norte
- **Área 7**, cena 214-65 – Litoral da Paraíba e parte de Pernambuco
- **Área 8**, cena 214-66 – Litoral de Pernambuco

Todas as áreas foram trabalhadas no sistema de coordenadas de UTM (*Universal Transversal Mecartor*). A área 1 pertencente à zona 23 sul da projeção UTM, as áreas 2, 3 e 4 na zona 24 sul e as demais na zona 25 sul.

Área 1

A primeira área compreende parte do estado do Maranhão, toda a costa piauiense e uma pequena parte do litoral extremo oeste do Ceará. O objetivo nesse setor foi focar as áreas de mangues do Estado do Piauí. Ocorrem neste trecho os estuários do rio Parnaíba, onde sua margem esquerda já está contida no Estado do Maranhão, Luis Correia e Barra Grande (Figura 17). O rio Timonha é dividido entre o Piauí e o Ceará, então, a título de facilitar o mapeamento por zonas de estuários (ou lagunas), o rio Timonha foi considerado parte integral da área conseguinte (2). Foi utilizado o sensor Landsat 7 ETH+ para o ano de 2002. Herz, (1991), em seu estudo, considerou as mesmas áreas.

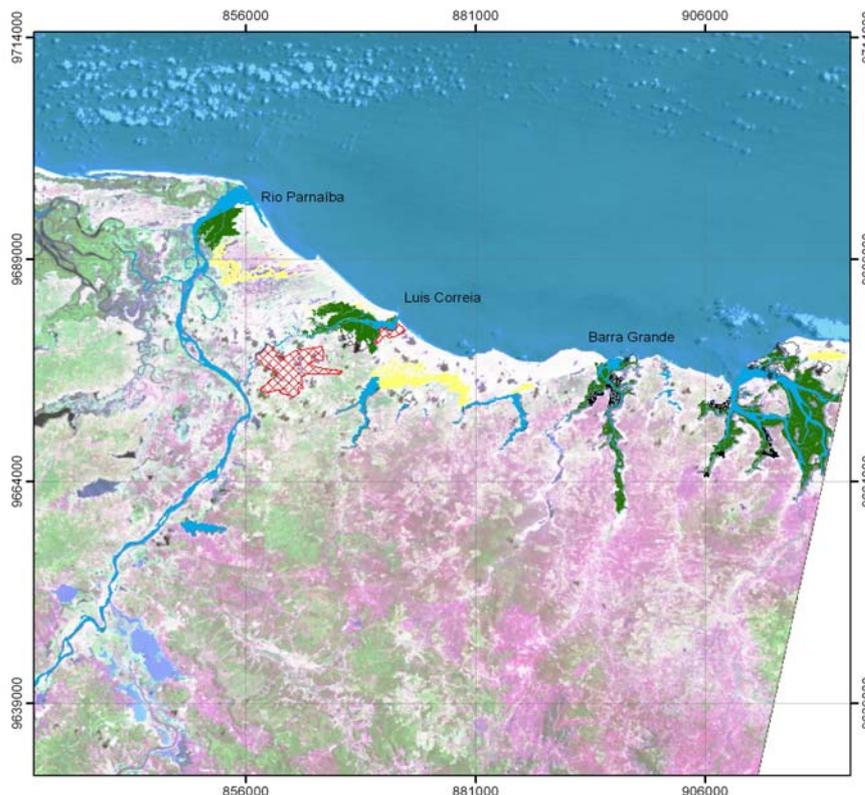


Figura 17 – Área 1, cena 219-62 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do Piauí e Ceará.

Área 2

Compreende o litoral extremo oeste do Ceará (Figura 18). Nesse setor foram identificadas 8 regiões, admitindo o caso, já explicado acima, constam: rio Timonha, rio Tapuio, rio Coreaú, Mangue Seco, Aranaú, rio Acaraú, as Lagunas de Itarema e Enseada dos Patos. Destes, Herz não considerou Mangue Seco, Aranaú e Lagamar do Sal. Foram realizados levantamentos para os anos de 2001 e 2003 utilizando os sensores Landsat 7ETM+ e 5TM, respectivamente.

A cena mais recente apresenta uma taxa de nebulosidade da ordem de 20% sobre a área de Acaraú, Itarema e Mangue Seco, mas o maior efeito foi sobre a região estuarina de Acaraú. Para o levantamento de 2001, o índice nebulosidade foi praticamente nulo na região costeira.

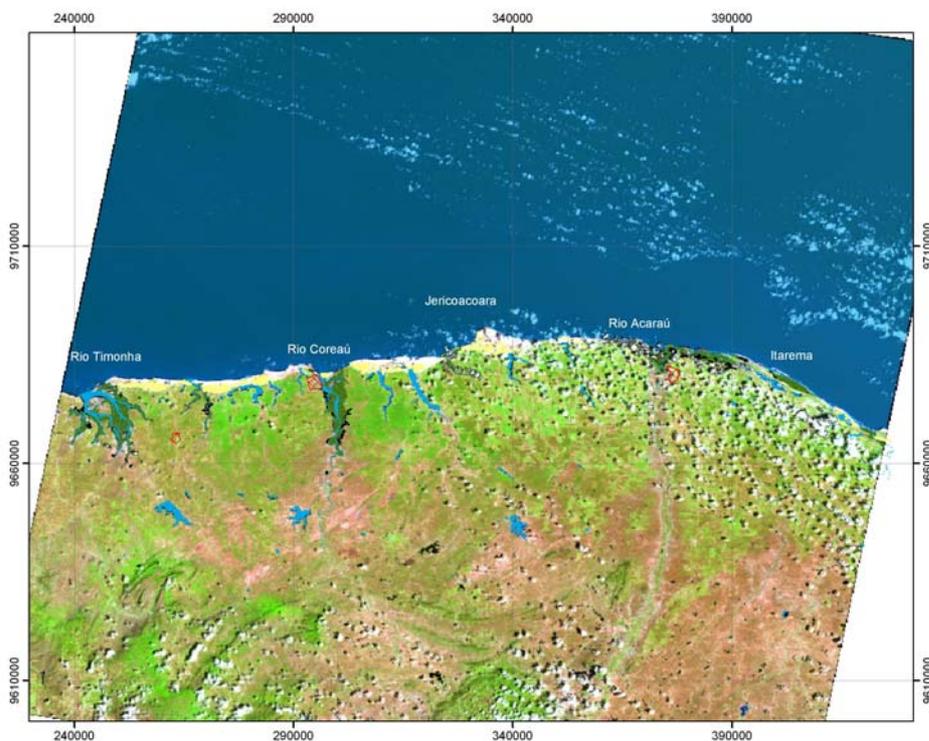


Figura 18 – Área 2, cena 218-62 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral extremo oeste do estado do Ceará.

Área 3

Nesta área estão presentes 7 estuários onde apenas o Lagamar do Sal não foi identificado por Herz. Porém, a Lagoa dos Talos não foi identificado pelos sensores utilizados. Nos outros, estão o rio Aracati Açú, Mundaú, rio Curu, rio Ceará e rio Cocó (Figura 19). Foram utilizados os sensores Landsat 7EMT+ com data de aquisição de imagem de 1999 e 5TM+ de 2004. Os levantamentos mais recentes apresentam taxa de nebulosidade da ordem de 20% sobre a região de alguns estuários.

Área 4

Este setor compreende o litoral leste cearense mais uma pequena porção do litoral norte do estado do Rio Grande do Norte, região de Areia Branca. Aqui foi identificado

o rio Pacoti, as áreas de mangues no Iguape, o rio Mal Cozinhado, o rio Choró, Piranji, o rio Jaguaribe e a região do Icapuí no Ceará. No estado potiguar foram identificadas as áreas de mangues do rio Apodí-Mossoró (Figura 20), região de grande produção de Sal, atividade que divide espaço com a produção de camarão. Herz não identificou as áreas do Iguape, do Mal Cozinhado e do rio Choró.

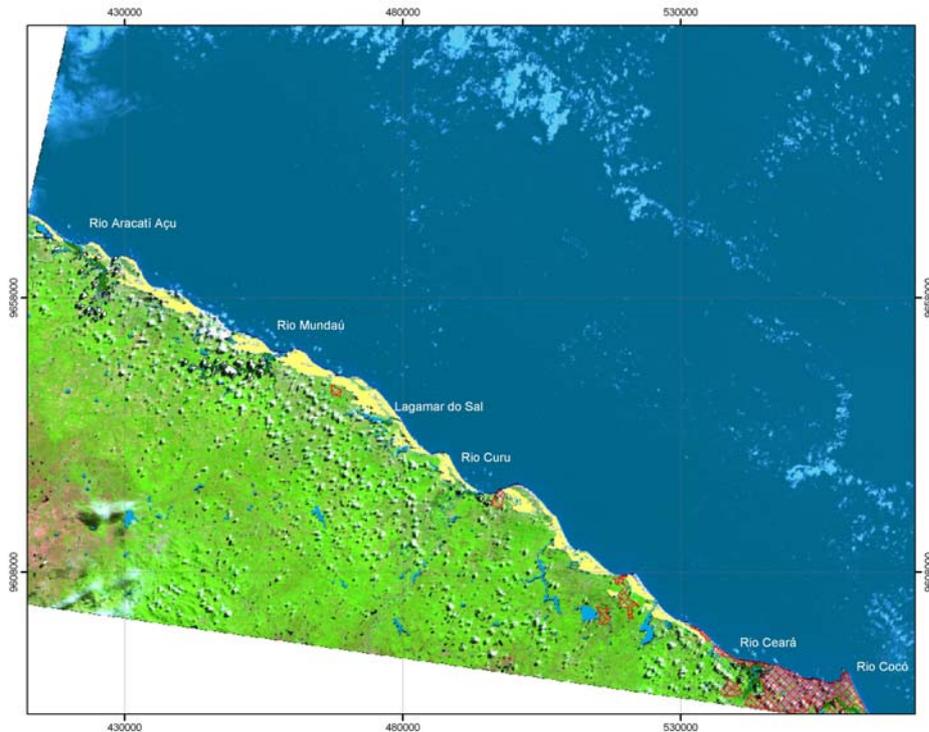


Figura 19 – Área 3, cena 217-62 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral oeste do Ceará, Região Metropolitana de Fortaleza localizada no canto inferior direito.



Figura 20 – Área 4, cena 216-63 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral leste do Ceará e rio Apodí-Mossoró no Rio Grande do Norte.

Foram utilizados os sensores Landsat 7 ETM+ para o ano de 2002 e o ERS para o ano de 1993. As taxas de nebulosidades sobre as imagens são inferiores a 1% sobre a região costeira, com uma importante exceção nas porções mais interiores no levantamento de 1993, na zona do rio Jaguaribe.

Área 5

Região onde menos ocorrem os estuários ou lagoas, porém suas planícies flúvio-marinha ou fluvial são muito expressivas. Situado no litoral norte do estado do Rio Grande do Norte, foram encontradas apenas duas áreas de manguezais, Macau e Guamaré (Figura 21). Assim como o rio Apodí-Mossoró, essas regiões também produzem sal.

Aqui, o sensor Landsat 7 ETM+ do ano de 2002 apresentou excelente qualidade com índices de nebulosidade inferiores a 1% na zona costeira.

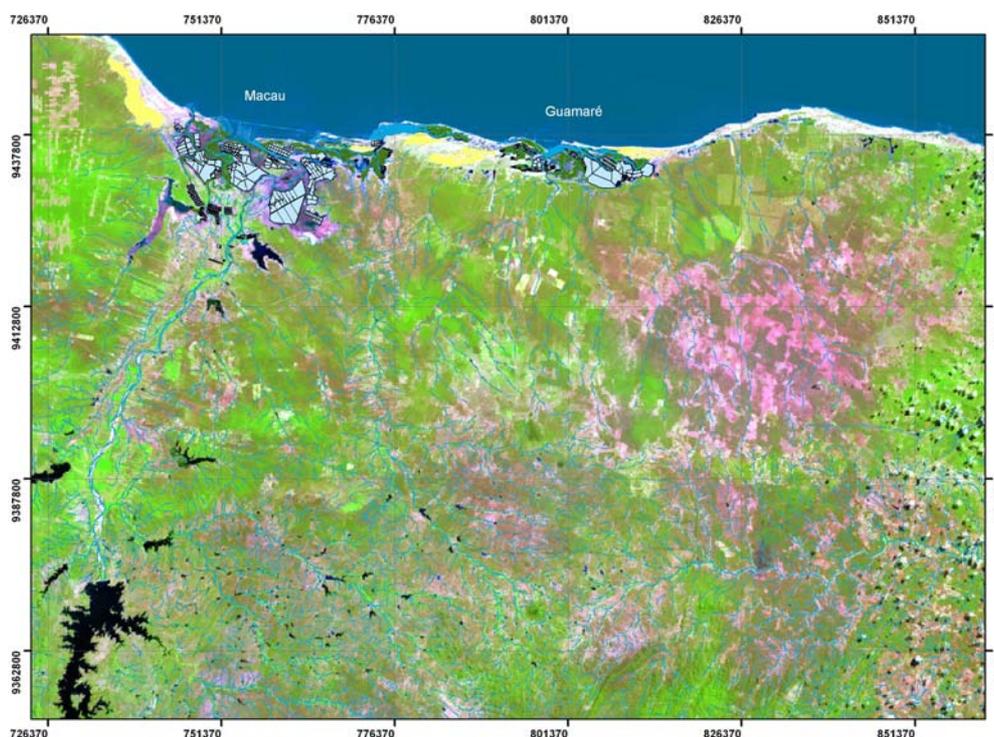


Figura 21 – Área 5, cena 215-64 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral norte do estado do Rio Grande do Norte, Região de Macau e Guamaré.

Área 6

Corresponde ao litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte. Identificados 4 estuários onde somente um não foi detectado por Herz (1991), o do rio Cearámirim. Dentre os outros estão o rio Potengi, na região metropolitana da cidade de Natal, a Lagoa de Guaraíras e o rio Curimataú (Figura 22). Para a Área 6 foram utilizadas as cenas do sensor Landsat 7 ETM+ dos anos de 2001, as quais apresentaram boas condições visuais até a região da Lagoa de Guaraíras e rio Curimataú, na porção sul do Estado. A Lagoa de Guaraíras apresentou índices de nebulosidade em torno de 15% sobre as regiões de mangues. Já o rio Curimataú ficou com índices inferiores a 10%, o que só impediu a

identificação de alguns braços do rio ou de gamboas. Para estas regiões utilizou-se o sensor Ikonos para o ano de 2003 podendo assim aferir as suas áreas de mangues.

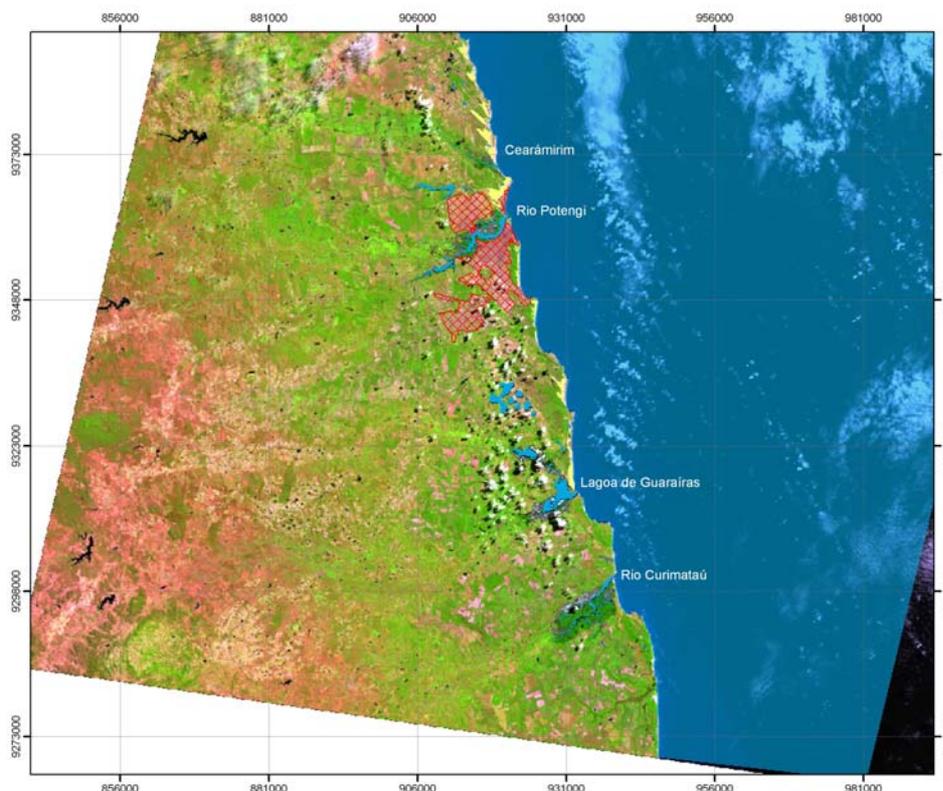


Figura 22 – Área 6, cena 214-64 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte.

Área 7

Esta área corresponde ao litoral paraibano e parte do pernambucano. Esta cena se divide, na porção meridional, com a seguinte cena na região da Grande Recife, Pernambuco.

Foram identificadas, aqui, as áreas de mangues dos estuários dos rios Camaratuba, Barra do Mamanguape, Miriri, Cabedelo, Mangabeira, Gramamé, Barra do Garaú e Abiaí para o Estado da Paraíba, e rio Goiana, Ilha de Itamaracá, rio Timbó e rio Doce para Pernambuco (Figura 23). Herz (1991) não detectou as regiões de Mangabeira, Barra do Garaú e Abiaí.

O levantamento para esta área baseou-se no sensor Landsat 7 ETM+ para o ano de 2001. Considerada a melhor das datas com relação a índices de nebulosidades sobre a zona costeira.

Área 8

Última área, que compreende parte do estado de Pernambuco e parte de Alagoas, estado não analisado pelo estudo.

Foram detectadas neste âmbito as áreas de mangue de Recife e dos rios Pirapanema, Suape, Barra do Sirinhaém, Formoso, Tamandaré e Uma (Figura 25). Somente a região de Tamandaré foi identificada por Herz, (1991).

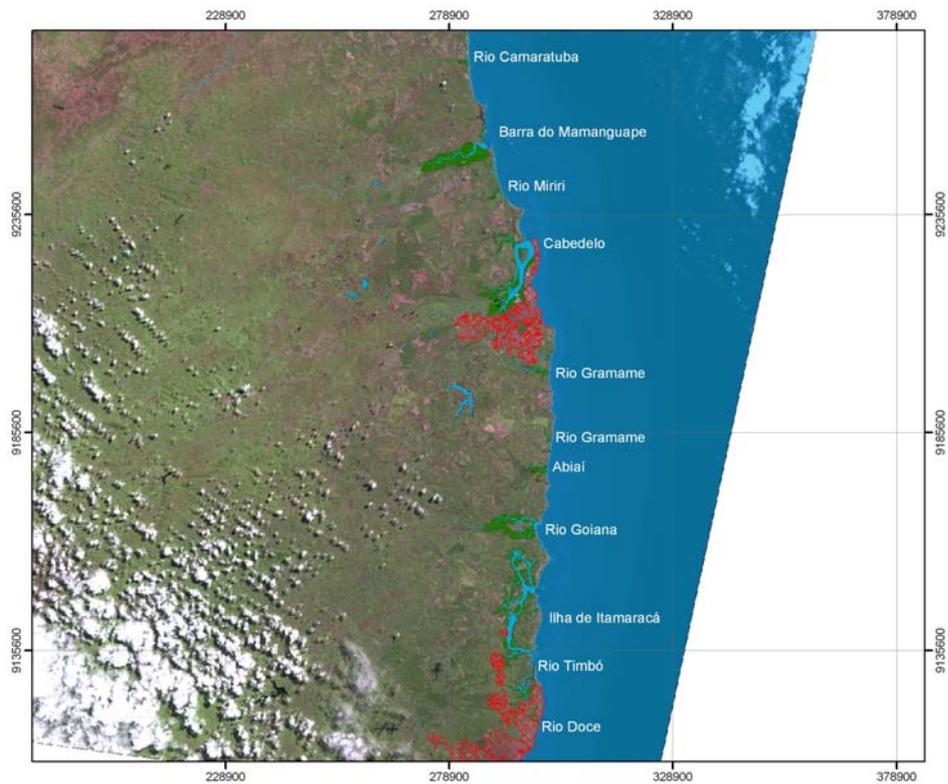


Figura 23 – Área 7, cena 215-64 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal do litoral do estado da Paraíba e parte do pernambucano até a região metropolitana da Grande Recife.

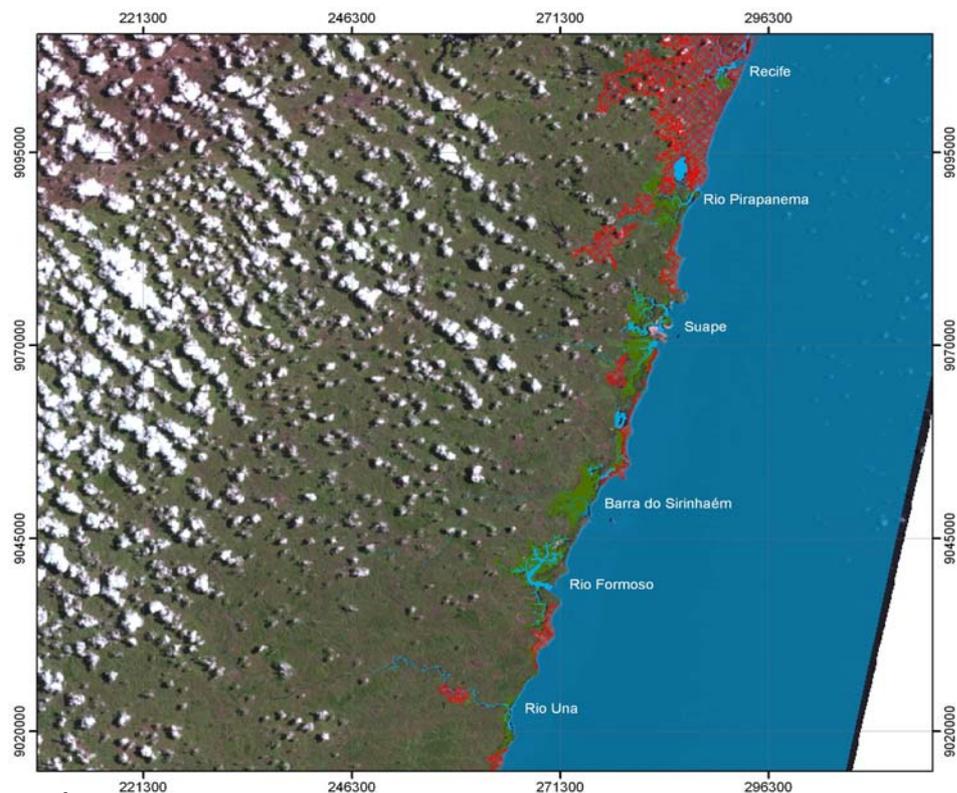


Figura 24 – Área 8, cena 215-64 do Landsat. Ocorrência das áreas de manguezal da porção sul do litoral do estado pernambucano.

Foram identificadas as regiões de manguezais a partir do sensor Landsat 7 ETM+ para o ano de 2001. E, assim como a Área 7, são grandes os índices de nebulosidades na região costeira, com a única exceção para as cenas deste ano que apresentaram pouca cobertura de nuvens sobre as áreas alvos.

8.0 – RESULTADOS

O presente estudo contemplou 51 áreas de ocorrência de manguezais entre estuários, que predominaram, e lagunas, ou seja, considerou 12 áreas a mais que Herz (1991), contra apenas uma que o método da atual análise não identificou: a Lagoa dos Talos, litoral oeste cearense (localizado na área 3).

Herz (1991) quantificou para as regiões do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, uma área total de 444,04 Km², baseado em imagens de 1978. O presente estudo apresenta uma área total de 604,38 Km² baseado em imagens de 1999 a 2004. Isso revela um balanço positivo de 36,10% em aproximadamente 25 anos, ou seja, o somatório dos processos ocorridos ao longo desses anos nessas áreas de estudo apresenta, de modo geral, um acréscimo de 160 Km² em suas áreas de mangue.

Ao nível local, entretanto, o aumento das áreas de manguezal não pode ser generalizado. Em diversas áreas específicas os aumentos foram maiores que a média. Em outras, ocorreu uma diminuição substancial dos manguezais. Na região de Guarairas, RN, por exemplo, (Figura 25) 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 14,52 km², um aumento de mais de 200%, quando comparados os resultados de Herz (1991). Note-se que na região também aumentaram significativamente as áreas de carcinicultura. Na região de Icapuí, CE (Figura 26), entretanto, o aumento da urbanização e o estabelecimento de fazendas de camarão resultaram em uma perda de 7,0 ha (12%) da área original de manguezais.

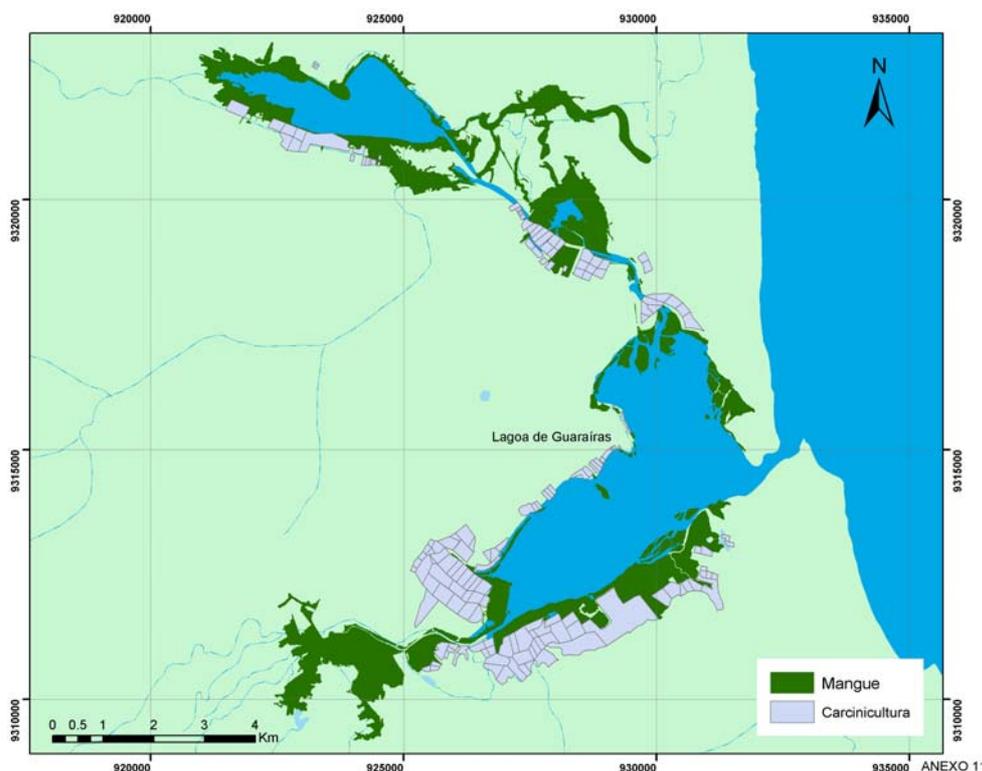


Figura 25 – Lagoa de Guarairas, região de Tibau do Sul, Rio Grande do Norte. Em 1978 tinha 4,5 Km², em 2003, 14,5 Km².

Em alguns casos foram estudadas áreas que correspondem aos anos de 1993 e 1999, com base em sensores remotos similares, e comparadas com anos mais recentes. Desta forma podem ser comparados, por exemplo, o estuário do Mundaú, estado do Ceará (localizado na área 2), onde se observa um aumento de 3,41 Km² de 1978 para 1999 e um decréscimo de 2,01 Km² de 1999 a 2004. Outro fenômeno pode ser observado de rio Pacotí, estado do Ceará (localizado na área 4), onde de 1978 para 1993 há um aumento das áreas de mangues de 0,41 km², e de 1993 para 2002, outro acréscimo de 0,74 Km², contabilizando um aumento de 1,15 km² ou 42,7%. Apesar de haver uma intensa atividade urbana às margens deste rio e uma dinâmica efetiva dos campos de dunas sobre o seu leito, dentro desta faixa de tempo dos anos de 1993 para 2002, há uma indicação de aumento das áreas pela penetração da cunha salina para dentro do estuário. Outra hipótese é o aumento do tamanho das ilhas e surgimento de outras sobre o leito deste rio, o que está relacionado com o avanço do nível médio das marés e ao regime hidrológico da bacia do rio Pacoti associado com as barragens artificiais construídas ao longo de sua bacia.

A partir da identificação dos manguezais através das áreas determinadas na metodologia baseada na órbita do satélite Landsat 7 ETM+, foram distribuídos os valores de áreas em Km² por Estado (Figura 27).

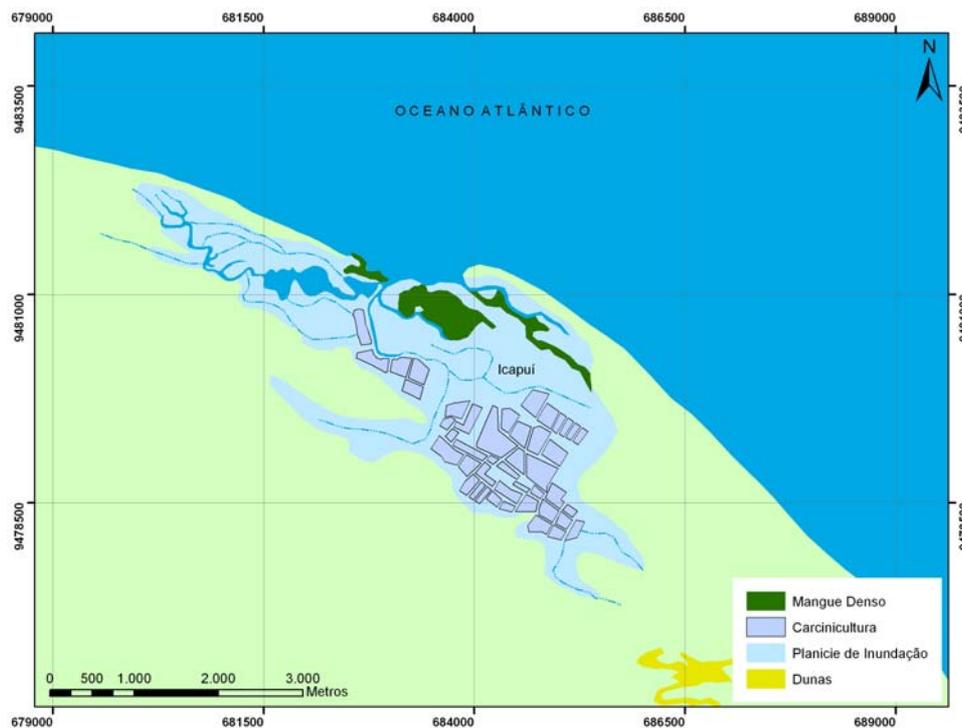


Figura 26 – Icapuí, extremo leste do litoral cearense, apresentando 0,69 Km² de mangues em 1978, (1,04 Km²) em 1999 e (0,62 Km²) em 2002.

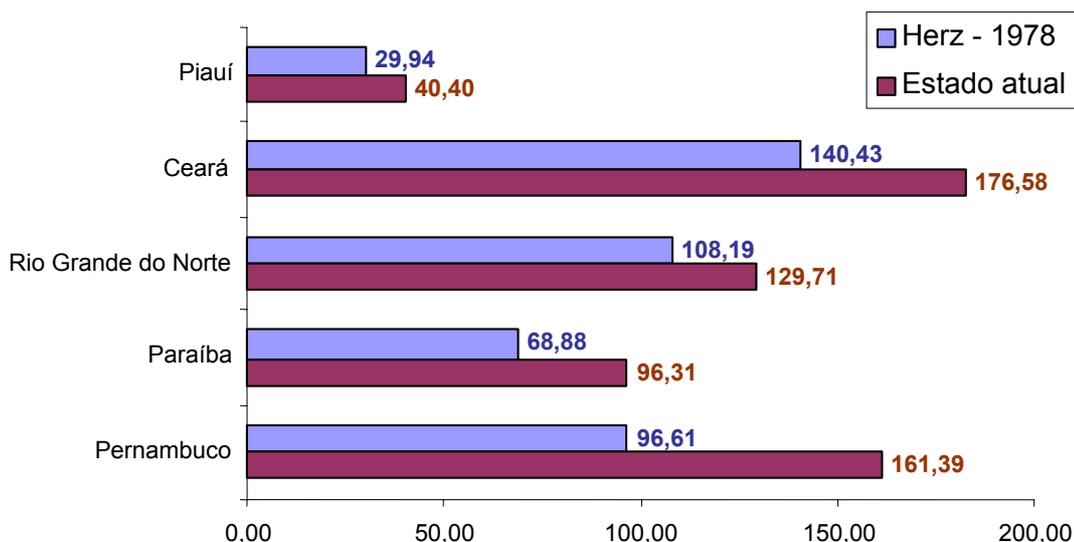


Figura 27 – Distribuição das áreas de mangue por Estado, (valores em Km²).

8.1 – Piauí

Foi comparada a análise espacial entre as áreas de mangues dos anos de 1978 e 2002. Identificou-se uma área total de 29,94 Km² para a década de 70, e 40,40 Km² para a situação atual. Ocorreram aumentos nos rios Parnaíba e Barra Grande, e déficit no estuário Luis Correia. Os aumentos das extensões dos campos de mangues ocorreram na direção da planície flúvio-marinha, adentrando para a planície fluvial. O decréscimo na região de Luis Correia pode estar relacionado ao crescimento urbano, o rio Igarauçu apresenta também atividade portuária em seu estuário. O balanço final foi positivo com um acréscimo geral entre os anos de 1978 à 2002 de 35% (10,46 km²) sobre as regiões de manguezais. Comparado ao estudo de Freire e Oliveira (1993) o aumento percentual em período mais recente foi de apenas 8%.

8.2 – Ceará

O estado do Ceará apresenta a maior área de manguezais pela grandeza de sua zona costeira com aproximadamente 573,0 Km de comprimento. São identificados 22 estuários considerando toda a porção do rio Timonha para efeito do cálculo de área ser representativo para todo o estuário. Foram analisados os anos de 1978, 1993, 1999, 2001, 2002, 2003 e 2004, para as diferentes áreas ao longo do Estado. Sumarizando os valores o Estado do Ceará apresenta atualmente 185,06 Km² de manguezais. Comparando-se as áreas documentadas por Herz (1991) somam-se 176,58 km²; contra 140,43 Km² na década de 70, sugerindo um aumento geral de 26% (36,15 Km²) em aproximadamente 25 anos. Os maiores acréscimos nas áreas de mangue foram no rio Timonha, com 16,68 Km² e rio Coreaú com 9,11 Km², isto pode ser visto entre os anos de 1978 e 2003. Em 2001, o rio Coreaú apresentou uma área de 35,50 Km², diferente apenas 0,20 Km² para 2003. Quando comparado ao estudo de Freire e Oliveira (1993) entretanto, os resultados sugerem um decréscimo também de 24%.

O rio Acaraú apresentou a maior diminuição de área, de 23,81 Km², em 1978, para 17,18 Km² em 2001, um déficit de 6,63 Km². Em 2004 a região de Acaraú apresentou uma cobertura de nuvens de aproximadamente 20% da área sobre o estuário, sendo assim foi possível identificar 15,57 Km² de manguezais sob cobertura de nuvens. Nesta região de maior déficit de área de mangue do estado do Ceará, que perdeu 6,63 Km² (663 ha) em 23 anos, todos os processos que estão envolvidos no desenvolvimento da zona costeira podem ser responsáveis pela diminuição. Em curto prazo é possível estimar uma área total relativa

das áreas de mangue para o ano de 2003, onde a imagem apresentou um índice de nebulosidade em torno de 20%. Se somássemos os 15,57 Km² (2003) de área de mangue com os 20% das áreas de nuvens e sombras de nuvens, área que recobre os manguezais, obteríamos o valor de 18,68 Km² de mangue. Com isso, a comparação em curto prazo (2001 a 2003) não apresenta grandes variações como na comparação em longo prazo.



Figura 28 – Razões de diminuição de área de mangues nas regiões de Aranaú e Acaraú. (A) Atividade de crescimento de barras arenosas e grande desenvolvimento de planície de deflação e campos de dunas sobre a planície fluvio-marinha, motivo causa da supressão de trechos de braços do rio Aranaú e áreas de mangues. As setas menores indicam a exumação de manguezais pela dinâmica sedimentar eólica. (B) Desmatamento de mangues para a construção do sistema de abastecimento e drenagem de uma fazenda de camarão. Áreas estimadas em 1,28 ha para as delimitações em vermelho. (C) Construção de estradas sobre os manguezais, para este trecho de aproximadamente 325 metros por 8 de largura verifica-se uma perda 0,26 ha. Extratos de imagens Quickbird de 2003, composição multiespectral fusionada com a banda PAN.

Dentro das várias atividades de desenvolvimento sócio-econômico da região estão a ocupação das áreas de manguezais pela urbanização e carcinicultura. Acaraú se apresenta como zona de sedimentação marinha pronunciada, haja vista suas condições ambientais geológicas e geomorfológicas, como por exemplo, a mudança da orientação da linha de costa cearense que deixa de ser NW – SE para W – L, que gera uma grande atividade eólica. Na região do rio Aranaú alguns de seus tributários são suprimidos por campos de dunas móveis que avançam sobre os manguezais (Figura 28).

A região da Lagoa dos Talos (área 3) localizada entre o rio Curu e rio Ceará, não apresentou realce significativo que pudesse vir a identificar mangues através do sensor Landsat, mas Herz (1991) quantificou suas áreas de mangue em 1,5 Km².

O aumento nas áreas de manguezal verificado pode ser atribuído a diversos fatores, principalmente a salinização generalizada dos estuários do nordeste devido ao aumento do número de açudes na região e provavelmente como resposta a mudanças climáticas globais (IPCC, 2001; Lacerda & Marins, 2002; Marins *et al.* 2003; Marins & Dias, 2003). A diminuição do fluxo de água doce do continente para o oceano tem sido reportada para diversas áreas do litoral nordeste (Bezerra, 1996; Cavalcante, 2001; Souza & Knoppers, 2003) favorecendo a penetração das águas salinas sob o regime de mesomares local e o aumento da deposição de sedimentos finos em áreas protegidas de estuários, favorecendo a colonização por manguezais.

A dinâmica costeira apresenta-se de forma importante na definição das embocaduras dos rios, zonas onde ocorrem os campos de mangues. No rio Jaguaribe, próximo a sua desembocadura, está localizada uma porção de mangue que se encontra atualmente sendo soterrada por campos de dunas que migram para a direção noroeste em função dos ventos de NE atuantes sobre essa região (Figura 29). Apesar desse processo de diminuição, o Jaguaribe apresentou um aumento nas suas áreas de mangue na ordem de 0,45 Km² em 24 anos (Tabela 3).



Figura 29 – Desembocadura do Rio Jaguaribe, CE. A foto mostra o avanço das dunas sobre os campos de mangues na foz do rio, margem direita.

8.3 – Rio Grande do Norte

O estado do Rio Grande do Norte apresentou uma área de 129,71 Km² de mangues durante o estudo atual, contra uma área de 108,19 Km² encontrado para o ano de 1978. Desta forma houve um balanço positivo nas áreas de mangues em 20% (21,52 Km²) em 25 anos de evolução. Só houve uma ocorrência de déficit para o Estado, o rio Apodí-Mossoró, que ao longo desses anos diminuiu 0,31 Km². Dentre os outros, comparados com Herz (1991), somente no rio Cearamirim (área 6) onde não pode ser avaliado por inexistência de dados pretéritos. Neste estudo, entretanto, apresenta uma área de 3,15 Km².



Figura 30 – Regiões de mangues em zonas alagadas durante as marés altas, Lagoa de Guaraíras, RN. Mangues da porção norte da lagoa, próximo aos campos de dunas.



Figura 31 – Vista panorâmica na direção leste da lagoa de Guaraíras. Áreas de mangues próximo ao canal que liga as lagoas de Guaraíras e Papeba.

O caso mais explícito foi da região da Lagoa de Guaraíras, caso já comentado, onde houve uma grande expansão dos manguezais pela invasão marinha após a ligação da

lagoa com o mar. Sua área cresceu na ordem de 223%, nas margens e bancos arenosos da lagoa (Figura 30 e 31) e adentrando o canal até a lagoa de Nísia Floresta ao norte da Lagoa de Guaraíras.

A maior área de mangue encontrada neste estudo foi a do rio Curimataú, a qual apresentou uma área de 39,59 Km² para o ano de 2003, um aumento de 4,4 Km² em relação aos números reportados por Herz (1991) para 1978 (35,19 Km²). O crescimento se posta sobre a planície Fluvial.

O rio Potengi, talvez o mais importante para o Estado pela função portuária que exerce, mostra várias modificações em seu ambiente, dragagens para correção de capacidade de calados para grandes embarcações, alguns aterros sobre áreas próximas aos campos de manguezal e antigas salinas desativadas dentro dos campos de mangues. Estas atividades também são antigas, por isso, de um modo geral, o rio Potengi apresenta um quadro evolutivo de seus mangues crescente, em 1978, uma área de 12,0 Km² e em 2001, 15,61 Km², portanto, em 23 anos as áreas de mangues do rio Potengi cresceram 4,4 Km² relativos a 37% da sua área de mangue em 1978.

8.4 – Paraíba

O estado da Paraíba, com 8 estuários em uma costa de aproximadamente 130 Km, apresentou para o ano de 2001 uma área de 96,31 Km². Herz (1991) calculou para esta mesma região 68,88 Km². Isso mostra um balanço positivo de 27,43 Km², que corresponde a um aumento de 40% sobre as estimativas da década de 1970. O estuário com área de manguezais mais expressiva é o do rio Paraíba (região de Cabedelo/Santa Rita), onde suas áreas de mangue foram ocupadas pelo crescimento urbano, mesmo assim houve um crescimento de 24,54 Km² em 23 anos no ecossistema manguezal. Outra grande área de mangue é a Barra de Mamanguape. Esta permaneceu de certa forma constante em suas dimensões. De acordo com os valores dos anos de 1978 e 2001 houve um crescimento relativo de 7% da área total dos mangues. Quando comparada às estimativas de Freire & Oliveria (1993) para o Estado da Paraíba, as áreas de manguezal mostraram uma diminuição da ordem de 5%.

8.5 – Pernambuco

No Estado Pernambuco foram identificadas 11 regiões de ocorrência de manguezais dentro de uma zona costeira relativamente pequena com aproximadamente 160 Km de extensão. Isso pode ser explicado pelo padrão de drenagem com alta densidade e solo pouco permeável. Foi identificada para o ano de 2001 uma área de mangue de 161,38 Km² em comparação com a área de 96,61 Km² do ano de 1978 estimada por Herz (1991). Portanto, esta área apresentou um crescimento geral da ordem de 67%. A Ilha de Itamaracá foi a área de mangue que mais cresceu em 23 anos, aumentando em 26,25 Km² de 1978 a 2001. O rio Goiana, também apresentou uma alta taxa de acréscimo, de 13,13 Km² para 29,33 Km² de 1978 a 2001. Só houve uma localidade que apresentou diminuição nas áreas de mangues com relação ao ano de 1978, que foi o estuário do rio Doce localizado no final da região metropolitana da Grande Recife, de 1,0 Km² para 0,6 Km², um déficit de 0,4 Km² relacionado com aterro imobiliário para construção de moradia pelas populações de baixa renda.

Mesmo quando comparado aos dados de Freire & Oliveria (1993), a área de manguezais pernambucanos mostra um aumento ainda maior de 83,28 km², correspondendo a cerca de 107% de aumento em relação aquelas estimativas da década de 1990.

8.6 – Sumário das áreas do projeto

Todos os valores apresentados até agora podem ser analisados na tabela 3, onde estão sumarizados todos os levantamentos de áreas de mangues, em quilômetro quadrado (km²), distribuídos por Estado e região estuarina. Os dados estão dispostos por localidade e por ano da fonte (imagens de satélite). Os valores relativos a todas as regiões estuarinas e lagunares foram sumarizados na figura 32 em forma de gráfico. Não foi possível identificar, através do método aplicado, a localidade Lagoa dos Talos (área 3, Ceará), assim como outras, também, não foram identificadas por Herz (1991) como Malcozinhado, Choró (Ceará), Cearámirim (Rio Grande do Norte), entre outras listadas na tabela 3. Por este motivo não é possível estimar variações nas áreas de mangues dessas localidades ao longo do tempo.

Foi feita uma ressalva, quando possível, para os anos recentes, ou seja, a comparação entre anos de 2003 e 2001 para área 2, entre os anos de 2004 e 1999 para área 3, entre os anos de 1993 e 2002 para área 4 e entre os anos de 2003 e 2001 para área 6. Isso pode vir a dar indicativo de passivos ambientais quando correlacionamos à evolução das áreas arbustivas de mangues com o histórico sócio-econômico ou eventos naturais, principalmente ocasionados por processos litorâneos, de uma dada região.

Portanto, para o cálculo de balanço entre as áreas de mangues calculadas a partir das imagens de satélite do acervo do Labomar-UFC e o estudo de Herz (1991) foi considerado o valor que corresponde ao ano mais recente subtraído de Herz. Por exemplo, para localidade do rio Ceará (ver tabela 3, área 3) existem dois valores de áreas, 7,67 e 8,81 Km², 1999 e 2004 respectivamente. O *balanço em 25 anos* foi de +2,81 Km², pois foi considerado o valor do ano de 2004, o mais recente, e o de Herz, que para o ano de 1978 calculou uma área de 6,00 Km². Outro caso é o cálculo do *balanço entre os anos recentes* onde a comparação é feita entre os anos de 1999 e 2004, ainda para o exemplo do rio Ceará.

No caso de Acaraú (área 2, Ceará) o valor encontrado para o ano de 2003, referente à imagem mais recente para esta localidade, apresentou um índice de nebulosidade em torno de 20% sobre a estuarina, isto impede uma boa quantificação das áreas de mangues que estão encobertas pelas nuvens, então foi admitido o valor de 2001 onde não há significância da nebulosidade sobre as áreas de mangues.

O somatório das áreas de mangue por Estado, teve como critério a seleção das mesmas localidades de Herz (1991) identificou em seu estudo, tornando possível a comparação ao longo do tempo. Porém, neste estudo foram identificadas novas áreas com relação àquelas mencionadas no “Atlas dos Manguezais do Brasil” (Herz, 1991). São estas: Mangue Seco e Aranaú (área 2); Lagamar do Sal (área 3); Iguape, rio Malcozinhado, rio Choro e rio Pirangi (área 4); rio Cearámirim (área 6); Mangabeira, Barra do Garaú e Abiaí (área 7); Tamandaré (área 8).

As atividades de carcinicultura e salinas também foram listadas em tabela da mesma forma que as áreas de manguezais (tabela 4). De um modo geral, a carcinicultura, que tem sido apontada como responsável pela conversão de áreas de manguezal, utiliza antigas áreas de salinas. Entretanto, a sua velocidade de crescimento, mostra que outras áreas, originalmente ocupadas por manguezais, também vêm sendo convertidas em fazendas de camarão.

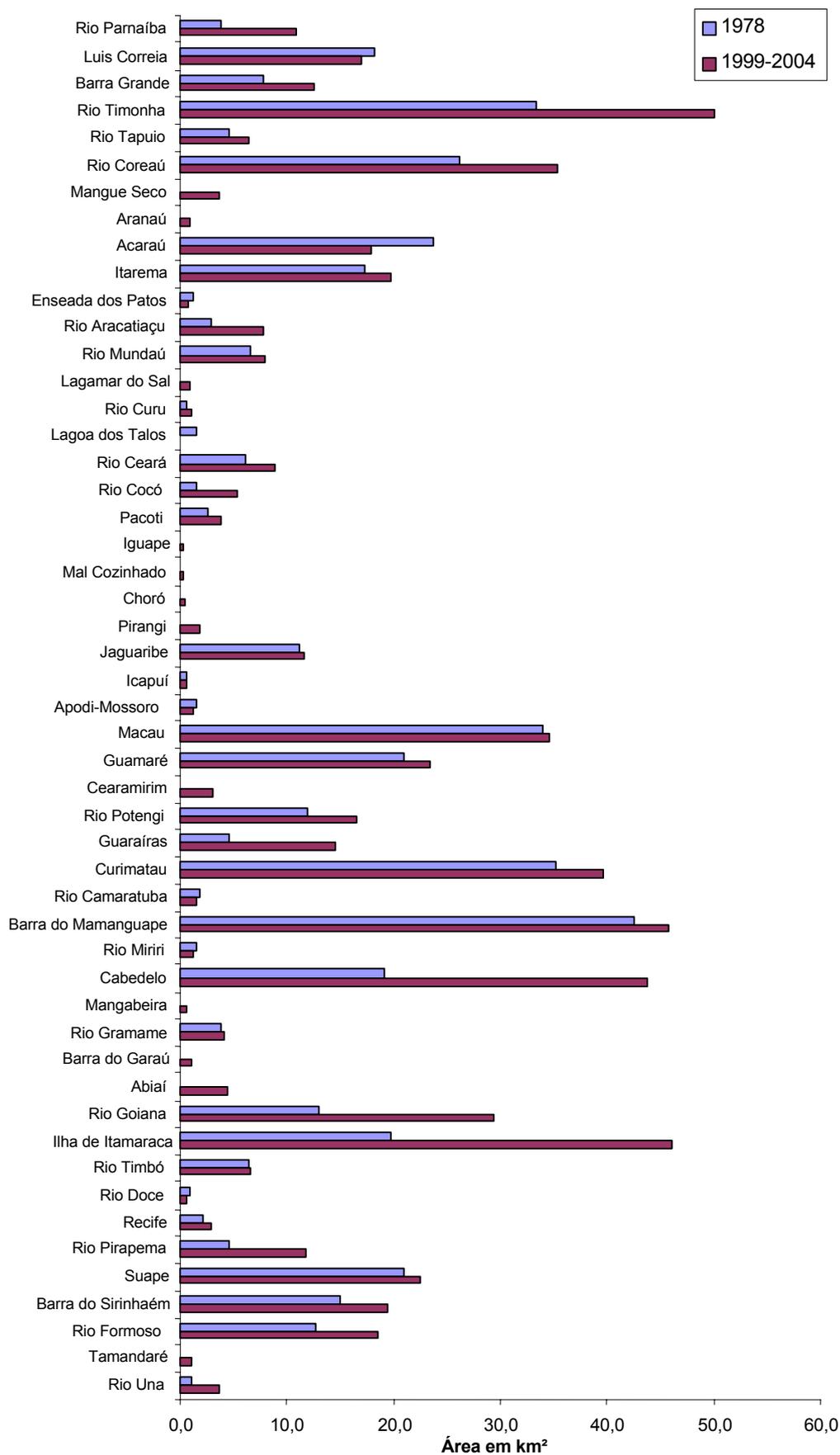


Figura 32 – Gráfico com as 51 áreas de ocorrência de mangues identificadas dentro da área de estudo. Localidade versus área em km².

Tabela 3 – Vista geral das comparações das áreas de manguezais propostas neste estudo com Herz, 1991. Os anos correspondem ao acervo de imagens dispostas neste trabalho. Os valores da coluna “Balança em 25 anos” quando aparece em vermelho indica um déficit nas áreas de manguezais. Os valores de área estão em Km².

Áreas	Situação Geográfica	UF Área*	HERZ 1978	1993	1999	2001	2002	2003	2004	Balança em 25 anos •	Balança anos recentes ••	
1	Rio Parnaíba	PI 40,4	3,94				10,81			6,87		
	Luis Correia		18,19				17,02			-1,17		
	Barra Grande		7,81				12,57			4,76		
2	Rio Timonha		33,44			52,50		50,11		16,68	-2,39	
	Rio Tapuio		4,56			5,71		6,35		1,79	0,64	
	Rio Coreaú		26,19			35,50		35,30		9,11	-0,20	
	Mangue Seco		nc			4,20		3,76			-0,44	
	Aranaú		nc			1,00		0,91			-0,09	
	Acaraú		23,81			17,18		15,57 ^{NVS}			-6,63	
	Itarema		17,31			18,14		19,81		2,50	1,67	
	Enseada dos Patos		1,31		1,08	0,83		NVS			-0,48	
3	Rio Aracatiaçu	CE 185,1	3,00		6,89				7,78	4,78	0,89	
	Rio Mundaú		6,56		9,97				7,96	1,40	-2,01	
	Lagamar do Sal		nc		0,82				1,01		0,82	
	Rio Curu		0,63						1,09	0,46		
	Lagoa dos Talos		1,50		nim				nim			
	Rio Ceará		6,00		7,67				8,81	2,81	1,14	
	Rio Cocó		1,56		7,12				5,26	3,69	-1,86	
4	Pacoti		2,69	3,10			3,84			1,15	0,74	
	Iguape		nc	0,30			0,26				-0,04	
	Mal Cozinhado		nc	0,37			0,26				-0,11	
	Choró		nc	0,29			0,44				0,15	
	Pirangi		nc	1,59			1,84				0,25	
	Jaguaribe		11,19	8,10			11,64			0,45	3,54	
	Icapuí		0,69	0,60		1,04	0,62				-0,07	-0,02
	Apodi-Mossoro		1,63	1,00			1,31				-0,31	0,31
5	Macau		33,88				34,49			0,61		
	Guamaré		21,00				23,40			2,40		
6	Cearamirim	RN 132,9	nc			3,15						
	Rio Potengi		12,00			16,40				4,40		
	Guaraíras		4,50			10,66		14,52		10,02	3,86	
	Curimatau		35,19			39,17		39,59		4,40	0,42	
7	Rio Camaratuba	PB 102,4	1,81			1,54				-0,28		
	Barra do Mamanguape		42,63			45,65				3,03		
	Rio Miriri		1,50			1,30					-0,20	
	Cabedelo		19,13			43,66				24,54		
	Mangabeira		nc			0,69						
	Rio Gramame		3,81			4,17				0,35		
	Barra do Garaú		nc			1,04						
	Abiaí		nc			4,32						

Áreas	Situação Geográfica	UF Área*	HERZ 1978	1993	1999	2001	2002	2003	2004	Balço em 25 anos •	Balço anos recentes ••	
7	Rio Goiana	PE 162,5	13,13			29,33				16,20		
	Ilha de Itamaraca		19,75			46,00				26,25		
			6,38			6,45				0,08		
	Rio Doce		1,00			0,60				-0,40		
8	Recife			2,25			2,94				0,69	
	Rio Pirapema			4,54			11,87				7,33	
	Suape			20,94			22,51				1,58	
	Barra do Sirinhaém			14,88			19,47				4,60	
	Rio Formoso		12,69			18,50				5,81		
	Tamandaré		nc			1,12						
	Rio Una		1,06			3,71				2,65		

* Total de área dos mangues atual. As cores da tabela distinguem os Estados estudados
nim – não identificado pelo método; **nc** – não considerado **NVS** – alto índice de nebulosidade
• Diferença entre os valores mais recentes com HERZ, 1978. Comparação em longo prazo.
•• Diferença entre os valores entre os anos mais recentes. Comparação em curto prazo.

Tabela 4 – Áreas de carcinicultura e salinas calculadas a partir das imagens de satélite do acervo do Labomar-UFC. Os valores de área estão em Km².

Áreas	Situação Geográfica	UF Área	2001	2002	2003
1	Rio Parnaíba	PI			
	Luis Correia				
	Barra Grande			3,82	
2	Rio Timonha	CE		3,50	
	Rio Tapuio				2,15
	Rio Coreaú				4,67
	Mangue Seco				
	Aranaú				
	Acaraú				0,97
	Itarema				4,67
	Enseada dos Patos				
3	Rio Aracatiaçu	CE			1,17
	Rio Mundaú				0,48
	Lagamar do Sal				
	Rio Curu				1,34
	Lagoa dos Talos				
	Rio Ceará				
4	Rio Cocó	CE			
	Pacoti				
	Iguape				
	Mal Cozinhado				
	Choro				0,49
	Pirangi				1,13
	Jaguaribe				8,20
Icapuí			1,55		

Continuação da Tabela 4

Áreas	Situação Geográfica	UF Área	2001	2002	2003	
4	Apodi-Mossoró			99,13		
5	Macau	RN		100,37		
	Guamaré			31,40		
6	Cearamirim		0,36			
	Rio Potengi		3,92			
	Guaraíras		7,43			
	Curimataú		8,19			
7	Rio Camaratuba		PB			
	Barra do Mamanguape			0,43		
	Rio Miriri					
	Cabedelo			3,08		
	Mangabeira					
	Rio Gramame					
	Barra do Garaú					
	Abiaí					
	Rio Goiana		4,06			
	Ilha de Itamaracá		2,34			
	Rio Timbó					
	Rio Doce					
8	Recife	PE				
	Rio Pirapema					
	Suape					
	Barra do Sirinhaém					
	Rio Formoso		0,47			
	Tamandaré					
	Rio Una					

OBS¹ As cores da tabela distinguem os Estados estudados

OBS² Os campos em branco indicam a não existência de atividades de carcinicultura/salina ou não foram detectados pelo método.

OBS³ As áreas calculadas são referentes as localidades, estuários ou lagoas costeiras e não por municípios.

9.0 – CONCLUSÃO

As quantificações para os estados do Piauí (40,4 Km² - 4.040 ha), Ceará (176,58 Km² - 17.658 ha), Rio Grande do Norte (129,71 Km² - 12.971 ha), Paraíba (96,31 Km² - 9.631 ha) e Pernambuco (161,39 Km² - 16.139 ha) sumarizam um valor de 604,38 Km² (60.438 ha), quando utilizamos as mesmas localidades reconhecidas por Herz (1991), além destas foram identificadas mais 12 localidades, que são: Mangue Seco, Aranaú, Lagamar do Sal, Iguape, rio Malcozinhado, rio Choro e rio Pirangi (CE); rio Cearámirim (RN); Mangabeira, Barra do Garaú e Abiaí (PB); Tamandaré (PE). Assim, a área total de mangues estimada neste estudo foi de 623,19 Km² (62.319 ha). O Estado do Piauí apresentou a menor área de mangues de 40,4 km² (4040 ha). O Estado do Ceará apresenta a maior área, de 185,06 km² (18.506 ha), o Rio Grande do Norte de 132,86 Km² (13.286 ha), a Paraíba de 102,36 Km² (10.236 ha) e o Estado de Pernambuco, com a segunda maior área de 162,51 Km² (16.251 ha).

A comparação entre os dados de Herz (1991) e este estudo identifica diversas atividades de desenvolvimento costeiro, tornando difícil o julgamento sobre a responsabilidade dos passivos ambientais. Entretanto, em áreas específicas é possível sugerir os principais vetores de redução de área de manguezal. No estuário do Rio Doce, Pernambuco, e no rio Cocó, a substituição das áreas de mangues foi devida a expansão de áreas urbanas. Por outro lado, nos rio Acaraú, Coreaú, Timonha, Mundaú e Icapuí, Ceará, os resultados sugerem fortemente que a perda de áreas de mangue foi devido principalmente a carcinicultura, dada à data recente das mudanças. No rio Mossoró, Rio Grande do Norte, onde as mudanças ocorreram há mais tempo, é provável que tenham sido causadas por conversão à salinas.

As avaliações de longo prazo indicam um aumento das áreas de mangue de 160,34 Km² (16.034 ha) cerca de 36%. No entanto, a análise dos valores de área em caráter de longo prazo não é capaz de evidenciar a ocupação indevida de áreas de mangues. Apesar de haver um aumento das áreas, é notório, através do mapeamento aqui realizado, a ocupação de áreas de manguezais que podem ser atribuídas aos vetores carcinicultura, salinas, urbanização e dunas, entre outros. Em todo caso, a expansão dos manguezais foi maior que a ocupação, o que dificulta a quantificação dos passivos de cada vetor.

Dentro da análise com intervalo de tempo de 25 anos (aproximadamente), o déficit nas áreas individuais de mangues foi de 1.105 ha (11,05 Km²) associados aos mais diversos processos de desenvolvimento costeiro (carcinicultura, urbanização, salinas, dunas, barramento de rios, etc). Mas quando utilizamos um processo analítico de curto prazo, mais próximo da atualidade observa-se um processo de diminuição das áreas de ocupação da vegetação de mangue, pelo menos onde foi possível realizar tal estudo. A análise entre os anos de 2001 e 2004, referente à área 2 (Estado do Ceará) com exceção da Enseada dos Patos, apresenta uma diminuição de 312 ha (3,12 Km²) das áreas de manguezais. Considerando o desenvolvimento da carcinicultura no País, com um crescimento superior a 300% em áreas de viveiros entre os anos 2001 e 2004, segundo o censo da ABCC (2003), podemos então apontar com principal vetor da diminuição das áreas de manguezais, neste caso, a carcinicultura, já que nenhum outro processo de desenvolvimento pode ser tão marcante em um curto espaço de tempo. Na área 3, ainda no Estado do Ceará, também foi verificado uma diminuição da área de manguezais nos rios Mundaú e Cocó, totalizando 387 ha, neste caso a expansão urbana deve ser a principal responsável pela conversão, embora, a carcinicultura no Rio Mundaú possa ser responsável por parte desta conversão. Nos rios Iguape e Malcozinhado, a diminuição de mangues foi devida a invasão por areias de movimentação eólica.

No estudo do Zoneamento Ecológico e Econômico do Litoral Cearense (ZEE-CE, 2005) foi realizado o inventário florestal da zona costeira, onde os manguezais do estado do

Ceará foram contemplados. Através do índice de abundância que representa o número de árvores por hectare o estuário do rio Acaraú se mostra bem inferior que a maioria dos estuários do Ceará. De maneira geral, uma breve comparação entre os rios Coreaú que apresenta 1.367 árvores/ha de abundância, rio Ceará com 2.276 árvores/ha, Aracatiaçu com 1.100 árvores/ha, rio Cocó com um índice de abundância de 3.718 árvores/ha, rio Choró 1.225 árvores/ha e Jaguaribe com 2.580 árvores/ha contra o baixo índice de Acaraú com apenas 892 árvores/ha. Isto mostra a baixa qualidade da floresta de mangue deste rio, que é atingido por diversas atividades como a agricultura, expansão urbana, carcinicultura, o próprio desmatamento de mangue ou a construção de barragens em sua bacia de drenagem. Ademais, os fenômenos de ordem natural como a disposição eólica dos sedimentos da região e barras arenosas do rio, que barram alguns braços ou gamboas, já visto em imagens de alta resolução, e que impedem a circulação das águas marinhas necessárias para o restabelecimento das condições hidroquímicas dos estuários. Sendo assim, qualquer intervenção imposta sobre as áreas de mangue são mais ainda danosas ao ecossistema manguezal do estuário do rio Acaraú.

É importante ressaltar também a grande importância deste levantamento atualizado, tendo em vista a escassez de trabalhos no nível de escala em que foi realizado, podendo-se admitir este trabalho como marco zero para os estudos de planejamento e gerenciamento estratégico para os setores afins. Finalmente, dado a rapidez das mudanças ambientais ocorrentes na zona costeira, é fundamental a atualização permanente dos resultados através de imagens mais atuais.

10.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alongi, D.M. 2002. Present state and future of the world's mangroves forests. *Environmental Conservation* 29: 331-349.
- Bezerra, E. 1996. *A barragem do Castanhão e a transposição do Rio São Francisco*. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 53 p.
- Cavalcante, A. A. 2000. *Impactos ambientais na região do baixo curso do Rio Jaguaribe, CE*. Tese de Mestrado, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 317 p.
- CENSO ABCC. 2003. *A Carcinicultura Brasileira em 2003*. Associação Brasileira dos Criadores de Camarão. Recife, 8 p.
- CENSO ABCC. 2004. *A Carcinicultura Brasileira em 2004*. Associação Brasileira dos Criadores de Camarão. Recife, 3 p.
- Cintrón, G. & Schaeffer-Novelly, Y. 1992. Ecology and management of new world mangroves. In: p. 233-258, Seeliger, U. (ed.) *Coastal Plant Communities of Latin America*. Academic Press, New York.
- Cunha, E.M.S. 2004 *Evolución reciente del litoral de Natal (RN – Brasil) y su aplicación a la gestión integrada*. Tese de Doutorado, Universidad de Barcelona, 384 p.
- Duke, N.C, Ball, M.C., Ellison, J.C. 1998. Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7: 27-47.
- Freire, G.S.S. & Oliveira, A.M.E. 1993. Mangroves of northeastern Brazil. p: 14-15. In: Lacerda, L.D. & Field, C.D. (ed.) *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions*. ITTO/ISME, Okinawa.

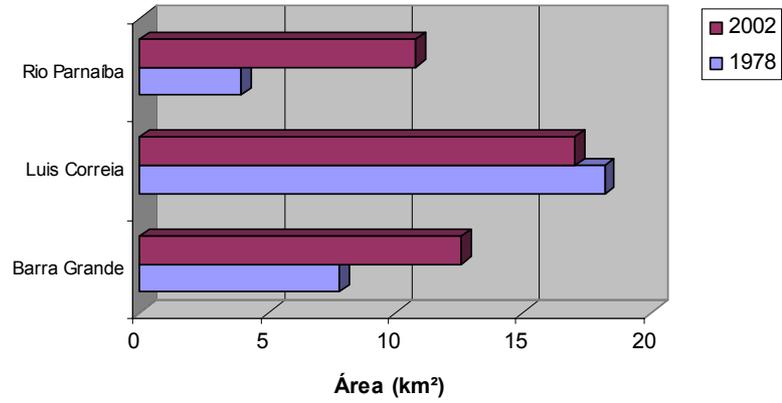
- Herz, R. 1991. *Manguezais do Brasil*. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 227 p.
- IPCC, 2001. *Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – Climate Change 2001*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kjerfve, B. & Lacerda, L.A. 1993. Mangroves of Brazil. In: p: 245-272, L.D. Lacerda (ed.) *Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. Part I. Latin America*. ITTO/ISME, Okinawa.
- Lacerda, L.D. 2005. Brazil case study. In: *Principles for a Code of Conduct for the Management and Sustainable Use of Mangrove Ecosystems*. ISME/WB/CENTER, Aarhus, p: 31-35.
- Lacerda, L.D., Marins, R.V. 2002. River damming and changes in mangrove distribution. *ISME/Glomis Electronic Journal* 2(1):1-4. (<http://www.glomis.com/ej/pdf/ej03.pdf>)
- Lacerda, L.D. (2002). *Mangrove Ecosystems: Function and Management*. Springer Verlag, Berlin, 332 p.
- Lacerda, L.D.; Kremer, H.H.; Kjerfve, B.; Salomons, W.; Marshall-Crossland, J.I., Crossland, J.C. 2002. *South American Basins: LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of River Catchment – Coastal Sea Interaction and Human Dimensions*. LOICZ Reports & Studies No. 21, LOICZ, Texel, the Netherlands, 234 p.
- Leal, J.R.L.V. 2003. *Zoneamento Geoambiental da Área de Proteção Ambiental de Canoa Quebrada – Aracati – Ceará*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE. 210 p.
- Maia, L.P. 1998. *Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-BRASIL): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral*. Tese de Doutorado, Universidad de Barcelona, 269 p.
- Marins, R.V.; Freire, G.S.S.; Maia, L.P.; Lima, J.P.R.; Lacerda, L.D. 2002. Impacts of land-based activities on the Ceará coast, NE Brazil. In: Lacerda, L.D.; Kremer, H.H.; Kjerfve, B.; Salomons, W.; Marshall-Crossland, J.I. & Crossland, J.C. (eds.) *South American Basins: LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of River Catchment – Coastal Sea Interaction and Human Dimensions*. LOICZ Reports & Studies No. 21, p: 92-98.
- Marins, R.V. & Dias, F.J.S. 2003. Alteração na hidroquímica do Estuário do Rio Jaguaribe: Descarga ou retenção de sedimentos. *Anais do IX Congresso Brasileiro de Geoquímica*, Belém, p: 480-482.
- Marins, R.V.; Lacerda, L.D.; Abreu, I.M. & Dias, F.J.S. 2003. Efeitos da açudagem no Rio Jaguaribe. *Ciência Hoje* 33(197): 66-70.
- Nascimento, P.D.; Sabry, R.C.; Gesteira, T.C.V; Almeida, A.M.S.; Silveira, F.F.; Vasconcelos, R.F. & Nogueira, J.S. 2004. O histórico do cultivo da ostra de mangue *Crassostreaa rhizophorae* (Guilding, 1828) no estuário do Rio Jaguaribe, Fortim-CE. *An. XIII Simp. Bras. Aqüicultura*, Fortaleza, p: 137-143.
- Schwarz, A.M. 2003. Spreading mangroves: a New Zealand phenomenon or a global trend. *Water & Atmosphere*. NIWA Estuaries/Resource Management. Hamilton 11(1): 3-5. (<http://www.niwa.co.nz/pubs/wa/resources>)

- Saintilan, N. & Wilton K. 2001. Changes in the distribution of mangroves and saltmarshes in Jervis Bay, Australia. *Wetlands Ecology and Management. Netherlands*. 9: 409-420.
- Spalding, M.D., Blasco, F. & Field, C.D. 1997. *World Mangrove Atlas*. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japão. 178 p.
- Souza, W.L. & Knoppers, B.A. 2003. Fluxos de água e sedimentos do Rio São Francisco para o Oceano Atlântico, *Geochimica Brasiliensis* 17(1): 57-74.
- Tomlinson, P.B. 1986. *The Botany of mangroves*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Wilton, K.M. 2002. *Coastal wetland habitat dynamics in selected New South Wales estuaries*. Unpublished Ph.D. Thesis. Coastal Wetlands Unit, School of APArts and Sciences, Australian Catholic University. 329 p.

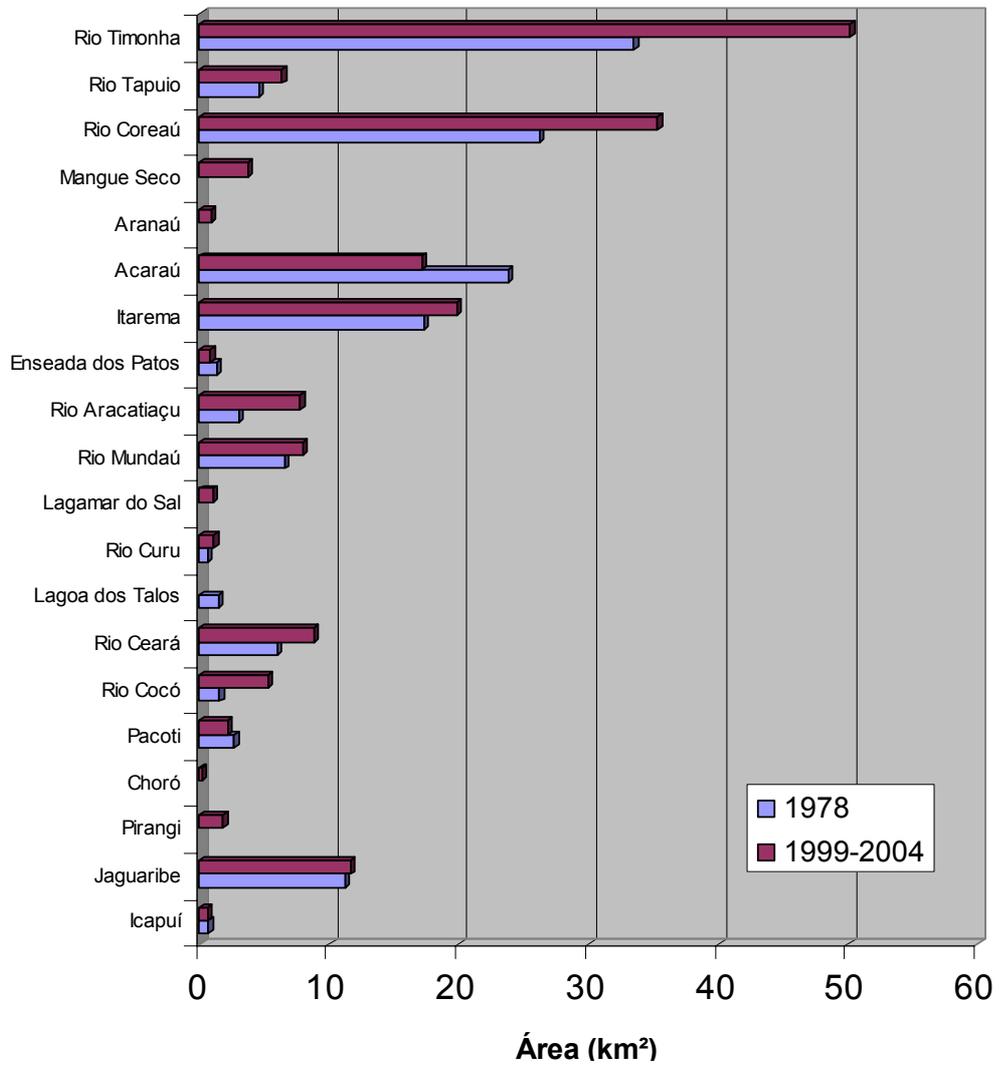
APÊNDICE I

**COMPARATIVO DAS ÁREAS DE MANGUES ESTUDADAS NESTE ESTUDO COM AS
DO ANO DE 1978, POR ESTADO.**

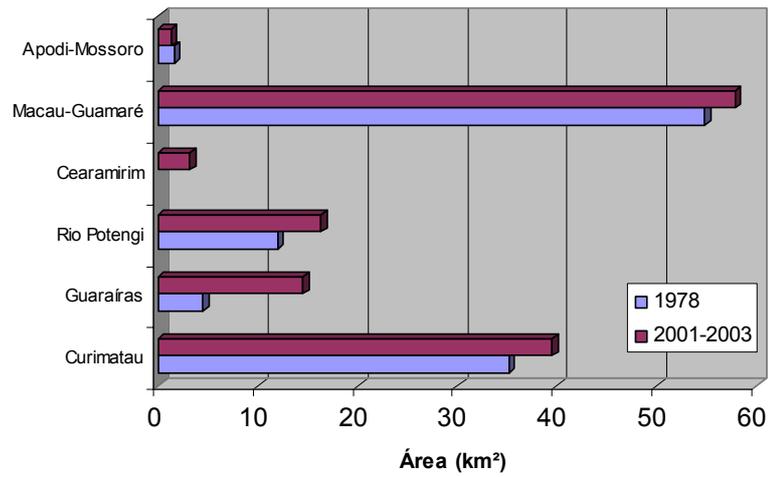
Piauí



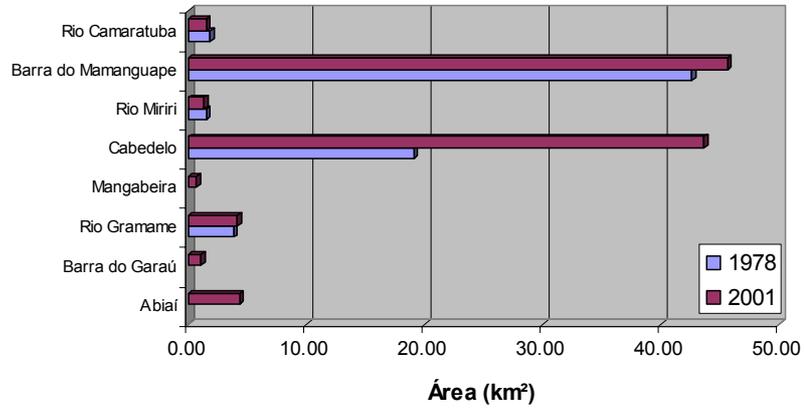
Ceará



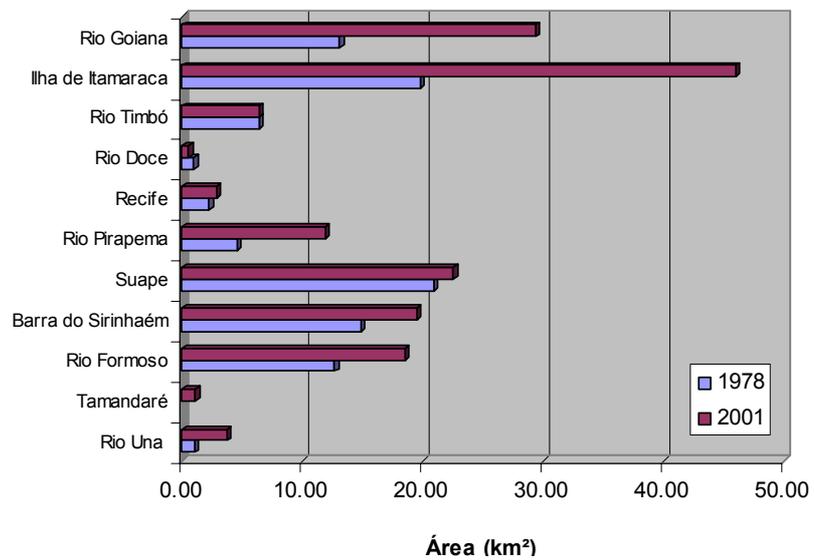
Rio Grande do Norte



Paraíba



Pernambuco



APÊNDICE II

MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE MANGUE