



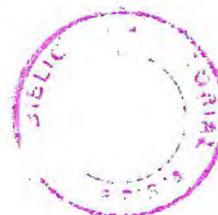
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA**

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO ESTUÁRIO DO RIO
COREAÚ. CAMOCIM – CE.**

EDUARDO GUILHERME GENTIL DE FARIAS

Monografia apresentada ao departamento de Engenharia de Pesca do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro de Pesca.

**FORTALEZA – CEARÁ – BRASIL
FEVEREIRO/2006**



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F238c Farias, Eudardo Guilherme Gentil de.
Caracterização ambiental do estuário do Rio Coreaú : Camocim - CE / Eudardo Guilherme Gentil de Farias. – 2006.
56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2006.
Orientação: Prof. Luis Parente Maia.

1. Engenharia de Pesca. I. Título.

CDD 639.2

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Luís Parente Maia
Orientador/Presidente

Leonardo Hislei Uchôa Monteiro, M. Sc.
CO - Orientador

Prof. Dr. Tito Lotufo Monteiro
Membro

Prof. Renato de Almeida
Membro

VISTO:

Prof. Dr. Moisés Almeida de Oliveira
Chefe do Departamento de Engenharia de Pesca

Profª Artamizia Maria Nogueira Montezuma, M.Sc.
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia de Pesca

Dedico esta monografia às mulheres da minha vida:

A minha mãe Helena Gentil.

As minhas irmãs Renata Gentil, Ana Beatriz Gentil e Celina Gentil.

As minhas avós Wanda Gentil e Jozina de Farias.

A minha tia Ticiania Gentil.

Ao meu grande amor Carolina Passos Aragão.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer a minha família e a minha namorada que sempre estiveram ao meu lado nos melhores e piores momentos de minha vida.

Ao Professor Dr. Luís Parente Maia, por todos os conselhos, pela confiança e por ter sido o primeiro a acreditar no meu trabalho.

Aos irmãos que a vida me deu: Leonardo Hislei, Tiago Cruz, Francisco Rodrigues, Bráulio Rodrigues, Carol Capellini, Aílton Júnior, Oscar Neto e Ricardo Lafaiete. Pessoas realmente ímpares, que sempre me deram verdadeiros exemplos e lições de humildade, garra e perseverança.

Aos companheiros de laboratório: Buda, Manuel Bensi, Marizete Rios, André Viana, Valberlândia Silva e Reginaldo Lima Verde, pelo companheirismo, ajuda e estímulo ao longo desses anos de convivência.

A todos que compõe o Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, pela acolhida e atenção recebida.

Ao CNPq pelo apoio cedido durante grande parte da minha graduação através da bolsa de Iniciação Científica.

Enfim, a todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, os meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

As zonas estuarinas são consideradas verdadeiros celeiros para diversas espécies de animais, além de possuírem grande influência no desenvolvimento sócio-econômico. É grande sua importância para as regiões que se encontram em suas adjacências, sendo um importante provedor de alimentos ricos em proteína, diluidor de efluentes domésticos e/ou industriais, áreas de lazer, turismo além de outros diversos usos. Portanto, faz-se imprescindível à adoção de medidas que viabilizem o uso sustentável desse ecossistema. Partindo dessa premissa, o presente trabalho teve como objetivo a caracterização ambiental do estuário do rio Coreaú, um dos mais importantes estuários do estado do Ceará. Inicialmente foi elaborado um mapa de caracterização ambiental a partir de imagem de satélite, posteriormente em campo foi realizado o levantamento batimétrico, a análise do fluxo de marés e a coleta de dados hidroquímicos. Com o auxílio do software Surfer 8.0 foi calculado o volume do estuário e o prisma de maré, respectivamente 14.750.000 m³ e 7.768.000 m³. As profundidades médias encontradas são em torno de 4 metros e máxima de 15 metros, sendo bem marcada a formação da calha fluvial. Por intermédio do estudo maregráfico, observou-se um atraso médio de 17 minutos para cada 1,5 km navegados para o interior do estuário a partir da desembocadura do rio ao compararmos com a variação prevista para o porto de Luís Correa. Os dados hidroquímicos apresentaram os valores médios seguintes: temperatura de 29 °C, oxigênio dissolvido 5 mg/L, pH 8,8, condutividade 67.63 µs/L, transparência 0.57 m e sólidos totais solúveis 40.91 g/L. O mapeamento permitiu a identificação das principais feições do estuário. A caracterização possibilitou analisar a real situação de um dos maiores estuários do estado do Ceará.

PALAVRAS-CHAVE: Estuário, Meio Ambiente, Coreaú, Desenvolvimento Sustentável

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	4
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	5
3.1.	Considerações gerais da região estuarina	5
3.2.	Classificação dos Estuários	5
3.2.1.	Classificação pela topografia	6
3.2.2.	Classificação pela estratificação salina	7
3.3.	As riquezas biológicas da região estuarina	8
3.3.1.	Flora	8
3.3.2.	Fauna	10
3.4.	Sensoriamento Remoto	10
3.5.	Levantamento batimétrico	11
3.6.	Físico-química da água	12
3.7.	Climatologia e Hidrologia	12
4.	MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1.	Localização da Área	14
4.2.	Etapa de Planejamento	15
4.2.1.	Levantamento Bibliográfico	15
4.2.2.	Processamento Digital de Imagens (PDI)	15
4.2.2.1.	Satélite LANDSAT	16
4.2.2.2.	Banda 8 LANDSAT 7 ETM+	17
4.3.	Etapa de Execução	17
4.3.1.	Equipamentos e Embarcação	17
4.3.2.	Aquisição de Dados	19
4.3.3.	Comportamento das Marés	19
4.3.4.	Caracterização Hidroquímica	20
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1.	Análise Comparativa da RGB 432 para os anos de 1975 e 2001	22
5.2.	Interpretação das composições do satélite LANDSAT 7 ETM+	23

5.3.Caracterização Geoambiental	27
5.4.Medição do Comportamento das Marés	33
5.5.Batimetria do Estuário do Rio Coreaú	36
5.6.Cálculo do Volume do Estuário	38
5.7.Parâmetros Hidro-químicos	39
5.7.1.Avaliação da transparência	
	40
5.7.2.Temperatura	41
5.7.3.Salinidade	42
5.7.4.Conductividade elétrica e sólidos totais solúveis	43
5.7.5.Oxigênio dissolvido	43
5.7.6.pH	44
6. CONCLUSÕES	45
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados físico-químicos da água do estuário do rio Coreaú.	40
Tabela 2 – Valores de k para o estuário do rio Coreaú.	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema básico de estuário com cunha salina em maré de enchente.	7
Figura 2 – Esquema básico de estuário parcialmente misturado.	8
Figura 3 – Vegetação do tipo <i>Rhizophora mangle</i> no estuário do rio Coreaú.	9
Figura 4 – Caranguejo aratu (<i>Goniopsis cruentata</i>) no substrato emerso no estuário do rio Coreaú	10
Figura 5 – Mapa de localização.	15
Figura 6 – Embarcação com sistema de localização GPS e ecobatímetro utilizada em campo.	18
Figura 7 – Esquema básico do sistema de batimetria.	19

Figura 8 – Sonda multiparamétrica portátil YSI 556.	21
Figura 9 – Disco de Secchi	21
Figura 10 – Composição RGB 432 do satélite LANDSAT 2, para o ano de 1975	23
Figura 11 – Composição RGB 432 do satélite LANDSAT 7 ETM+ para o estuário do rio Coreáú.	24
Figura 12 – Composição RGB 321 do satélite LANDSAT 7 ETM+ para o estuário do rio Coreáú.	25
Figura 13 – Composição RGB 752 do satélite LANDSAT 7 ETM+ para o estuário do rio Coreáú.	26
Figura 14 – Composição RGB 543 do satélite LANDSAT 7 ETM+ para o estuário do rio Coreáú.	27
Figura 15 – Depósitos arenosos próximos à desembocadura do estuário do rio Coreáú.	28
Figura 16 – Fazenda de cultivo de camarões marinhos.	29
Figura 17 – <i>Rhizophora mangle</i>	30
Figura 18 – <i>Avicennias (schaueriana e germinans)</i>	31
Figura 19 – <i>Laguncularia racemosa</i>	31
Figura 20 – Mapa ambiental do estuário do rio Coreáú.	32
Figura 21 – Régua maregráfica implantada no estuário.	34
Figura 22 – Comportamento da Maré para o Estuário do Rio Coreáú em 12/01/2005.	35
Figura 23 – Comportamento da Maré para o Estuário do Rio Coreáú em 13/01/2005	35
Figura 24 – Mapa batimétrico.	37
Figura 25 – Margem esquerda do estuário do Coreáú próximo à desembocadura.	38
Figura 26 – Pontos de coleta ao longo do estuário	39
Figura 27 – Temperatura da água ao longo do estuário	42
Figura 28 – Salinidade ao longo do estuário	43

1. INTRODUÇÃO

As zonas estuarinas correspondem às áreas que sofrem influência direta da ação das marés, havendo a mistura de água salgada do mar com água doce oriunda da drenagem de rios. Essas zonas são caracterizadas pelo depósito de sedimentos e de matéria orgânica com alta produtividade primária, que fazem com que os solos nas margens dos rios sejam lamacentos devido às inundações periódicas das marés. A vegetação de mangue encontra neste tipo de substrato condições favoráveis pois é composta por plantas que possuem mecanismos de adaptação para tolerar a presença de sal e se sustentarem neste tipo de solo (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

A riqueza biológica dos manguezais faz com que sejam considerados verdadeiros “berçários” naturais, tanto para espécies características desses ambientes (camarões, caranguejos, siris, sururus, ostras), como para peixes de águas doces e marinhas, e de animais que migram para áreas costeiras, em pelo menos uma das fases de seu ciclo de vida (SHAEFFER-NOVELLI, 2003 al.1994).

São consideradas regiões com potencial para o desenvolvimento sócio-econômico das regiões que se encontram adjacentes a esse ecossistema, devido ao mesmo produzir as condições ideais para o desenvolvimento de atividades tais como: aqüicultura, turismo e pesca extrativa.

O estado do Ceará possui 17 estuários, dentre esses, encontra-se o estuário do rio Coreaú, que corresponde à área contemplada por esse trabalho.

Este rio tem grande importância na produção pesqueira do estado por ser porto para embarcações. Está localizado no litoral oeste do estado do Ceará. Na margem esquerda na foz, está a cidade de Camocim. O sistema de drenagem deste se resume principalmente por um canal de rio principal com pequenas reentrâncias e ilhas, a foz está protegida por baía, isso faz com que haja grande movimentação de sedimentos eólicos na barra (MONTEIRO, 2005).

A cidade de Camocim se desenvolveu às margens do estuário do rio Coreaú, dotada de uma área de 1.157,5 km². Suas primeiras referências foram datadas na segunda metade do século XVI, quando cartograficamente

identificou-se a nomenclatura costeira, a começar de Tutóia no Maranhão aos limites finais entre Ceará e Rio Grande do Norte. O ancoradouro, denominado pelos nativos de Camocim, constou do levantamento cartográfico com o nome de rio da Cruz ou foz do rio Coreáú, no percurso extensivo ao atual município de Granja.

No início do século em referência, Pero Coelho de Sousa aportou no ancoradouro do rio da Cruz, partindo no dia seguinte rumo a Ibiapaba.

Em 1656, procedendo à visita do padre Antônio Vieira a Ibiapaba, o governador do Maranhão autorizou a construção de Forte em Camocim, na suposição segundo a qual os índios Tabajaras não receberiam pacificamente o ilustre visitante. Como, no entanto, o contrário viesse a ocorrer, o Forte não passou de simples projeto.

No começo do século XVII, quando o padre Ascençõ Gago instalou várias tribos, retiradas da missão da Tabainha, houve como local de realdeamento o rio Cruz, porém no extremo sul da foz do Coreáú, no que se presume tenha sido no final da extensão Granja e Camocim (*Fonte: www.ceara.com.br/m/camocim*).

Na primeira metade do século XX, o desenvolvimento do município deu-se devido à instalação de salinas ao longo estuário, enquanto que nos anos subseqüentes, na segunda metade desse período, houve um “bloom” na atividade da pesca extrativa da lagosta, sendo as estruturas portuárias utilizadas como apoio para o exercício dessa atividade.

Já ao fim do século XX, com a ascensão da carcinicultura no cenário nacional, o estuário do rio Coreáú passou a ser fortemente utilizado para o exercício da aqüicultura, atividade esta que atualmente se constitui como a principal geradora de divisas e renda da região. Porém, com o desenvolvimento da atividade aquícola vieram à tona novos questionamentos sobre o uso sustentável da zona estuarina.

Além disso, devido ao desenvolvimento de alguns municípios do litoral extremo oeste do estado, o estuário do Coreáú vem sofrendo uma crescente intervenção antrópica devido ao aumento na emissão de efluentes domésticos e industriais e no número de barramentos ao longo da bacia do Coreáú.

Partindo dessa premissa, o presente trabalho visa à caracterização ambiental do estuário do rio Coreáú, que constitui-se numa valiosa ferramenta

para a projeção e antecipação das respostas do meio físico à introdução de elementos antrópicos e à dinâmica natural. Para isso faz-se necessário o conhecimento dos processos e agentes atuantes no Coreau, principalmente daqueles que promovem a atuação direta tais como as marés, salinidade e zoneamento.

Portanto, a caracterização ambiental é de fundamental relevância para o uso e gestão adequada desse ecossistema, sendo, portanto este trabalho gerador de conhecimentos e informações necessárias do meio físico, bem como a produção de metodologias que possam ser aplicadas no planejamento, o que é fundamental para possíveis diagnósticos acerca do comportamento ambiental, interações antrópicas e avaliação do potencial de aproveitamento do Coreau.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal a caracterização ambiental do estuário do rio Coreaú.

Para alcançar este objetivo geral, foi realizada uma série de objetivos específicos, visando compreender os fatores naturais, agentes e processos que comandam o comportamento físico da área em estudo. São esses os seguintes:

- Realizar levantamento batimétrico apoiado por GPS para o reconhecimento morfológico da calha fluvial ao longo de toda a área navegável do estuário do rio Coreaú;
- Caracterizar o comportamento hidrodinâmico do rio com o auxílio de régua maregráfica;
- Coletar dados *in situ* referentes a físico química das águas do estuário do rio Coreaú, visando o melhor entendimento da dinâmica destes compostos;
- Elaborar mapa de zoneamento ambiental do estuário baseado em imagens de satélite LANDSAT 7 ETM+ com Integração dos dados levantados em sistema de informação geográfica (SIG).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Considerações gerais da região estuarina

Segundo CAMERON & PRITCHARD (1963), os estuários correspondem aos corpos d'água costeiros que apresentam conformação semi-fechada, havendo livre conexão com o mar aberto, salinidade mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem hidrográfica e dimensões inferiores quando comparadas a regiões de mares fechados.

Estas regiões possuem imensa relevância no desenvolvimento social, econômico e ambiental, devendo seu gerenciamento estar embasado no desenvolvimento sustentado.

Os estuários e seu entorno apresentam-se com uma, ou normalmente várias das seguintes características:

- Grande densidade populacional
- Áreas portuárias e de navegação.
- Áreas de segurança naval.
- Abundância de recursos pesqueiros.
- Áreas de diluição de efluentes domésticos e/ou industriais.
- Áreas de recreação e lazer.

A partir desta caracterização, evidenciam-se os diversos usos deste importante ecossistema aquático.

3.2. Classificação dos Estuários

Existem diversos modos de se classificar as zonas estuarinas, tendo como finalidade se comparar diferentes estuários estabelecendo uma estrutura de princípios gerais. Desta maneira, faz-se possível um melhor entendimento da dinâmica dessas áreas, tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo.

3.2.1. Classificação pela topografia

Segundo PRITCHARD (1952) (*apud GUIMARÃES & MARONE, 1996*), os estuários segundo a topografia podem ser divididos em 3 principais grupos:

- **Planície Costeira** – Se formaram durante a transgressão flandriana, pela inundação de vales previamente escavados. A sedimentação não acompanhou a inundação e a topografia do mesmo ainda se parece com um vale de um rio. Conseqüentemente as profundidades máximas raramente ultrapassam 30 m. Estuários de planície costeira geralmente estão restritos a latitudes temperadas, onde, embora o fluxo do rio possa ser grande algumas vezes, a quantidade de sedimento descarregado pelo rio é relativamente pequena. O fluxo do rio é pequeno, em geral, se comparado ao volume do prisma de maré.
- **Fiordes** – São sistemas característicos de altas latitudes, formados em águas cobertas por geleiras no Pleistoceno. A pressão do gelo aprofundou e alargou o vale dos rios pré-existentes, mas deixou obstáculos de pedras em alguns locais, particularmente em suas entradas e intersecções. Esses obstáculos fazem com que o fluxo de água doce seja sobrejacente ao de água de origem oceânica, que em geral se encontra estagnada.
- **Construídos por barras** – Também experimentaram incisão durante o período glacial com subseqüente inundação. No entanto, a sedimentação recente acompanhou a inundação, originando barras de sedimentação transversalmente as suas entradas, os quais podem apresentar um ou mais canais. Esta barra normalmente é formada onde as ondas quebram na praia, e para que se desenvolvam bem a amplitude de maré deve ser limitado e grandes volumes de sedimento devem estar disponíveis, de forma que estão geralmente associados a costas deposicionais. São em geral encontrados em áreas tropicais, ou com deposição costeira de sedimentos ativa.

- **Outros** – Todos os que não se enquadram nos grupos acima, como por exemplo os produzidos tectonicamente.

3.2.2. Classificação pela estratificação salina

Segundo ALFREDINI (2005), quanto à estratificação os estuários podem ser classificados em 3 categorias:

- **Estuário em cunha salina** – São estuários com pouca mistura vertical, ou seja, altamente estratificados formando uma acentuada halóclina, devido à arrebenção das ondas interfaciais que injetam pequenas quantidades de água salgada na camada de água doce superior. Sendo, esta água salgada perdida repostada por um lento influxo de água marinha para terra sob a água doce. Desenvolve-se em condições nas quais um rio deságua num mar com maré muito fraca. A água fluvial menos densa flui sobre a superfície da água mais densa, água salgada marinha, a qual, por não haver virtualmente nenhum movimento de corrente de maré, pode ser considerada como uma cunha salina estacionária no tempo que se afunila subindo o rio. (Figura 1)

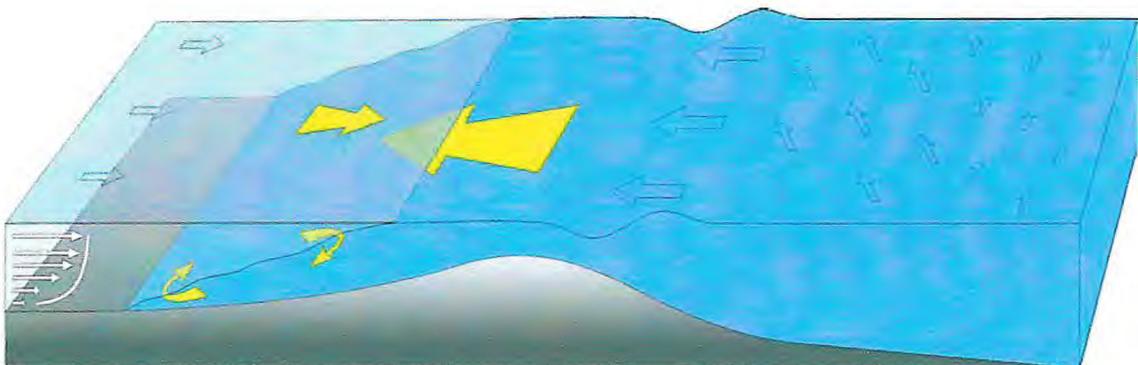


Figura 1 – Esquema básico de estuário com cunha salina em maré de enchente.

- **Estuários parcialmente misturados** – Possuem grande circulação de massa d'água na enchente e vazante que, além do atrito na interface interna, produz grande atrito no leito estuarino, gerando turbulência que

torna a mistura vertical mais por difusão turbulenta ainda mais efetiva. São caracterizados pela moderada energia de maré, com correntes de maré significativas. Ocorre a mistura em dois sentidos, isto é água salgada misturada na camada superior e água doce na inferior, tornam halóclina menos definida.(Figura 2)

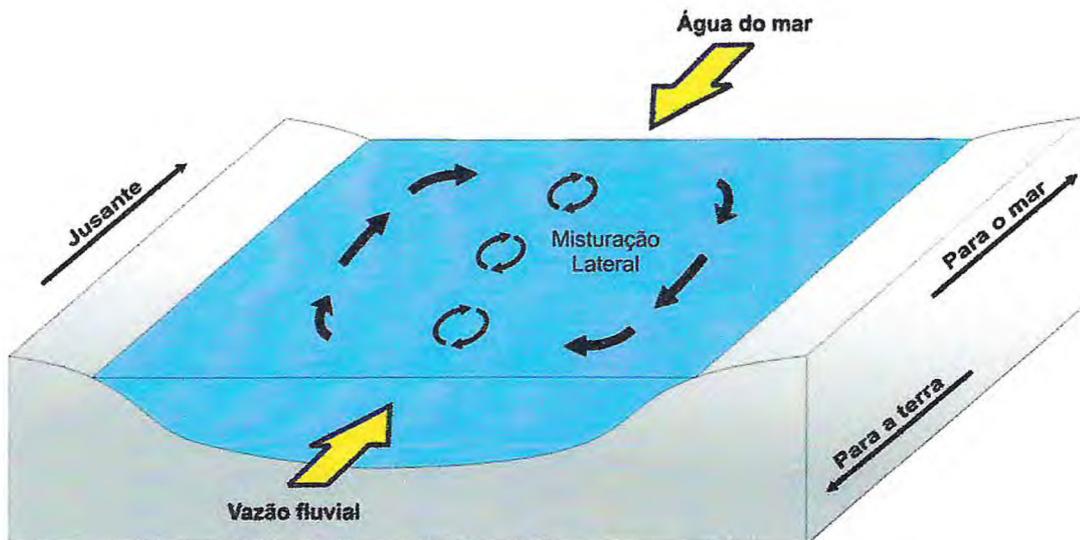


Figura 2 – Esquema básico de estuário parcialmente misturado.

- **Estuário bem misturado** – É típico de lagunas costeiras e de estuários largos, rasos, de forma afunilada e com marés de grande altura, sendo dotado de linhas isohalinas verticais.

Com a mesma vazão de água doce, um estuário pode ser estratificado nas marés de quadratura e bem misturado nas marés de sizígia.

3.3. As riquezas biológicas da região estuarina

3.3.1. Flora

Segundo MONTEIRO (2005), os mangues correspondem a um tipo de vegetação que pode se apresentar como árvores e arbustos; samambaias e palmeiras também são termos que podem ser usados. Desenvolvem-se principalmente em solos limosos dos rios tropicais, ao longo da zona de influência de marés, tanto para dentro do estuário, onde as variações de marés

impulsionam as águas salgadas do mar para o continente, através do canal fluvial, como para as laterais dos rios, em zonas sujeitas a inundações no baixo curso.

CINTRÓN & SCHAEFFER-NOVELLI (1992) afirmaram que os mangues são sistemas tropicais e, portanto, alcançam seu maior desenvolvimento na faixa intertropical (23°27' N a 23°27' S). Ocasionalmente, estendem-se até latitudes superiores, alcançando até 30 N e 30 S, ainda que nessas latitudes geralmente seu vigor e desenvolvimento estrutural diminuam.

De acordo com LEAL (2003), quando estudou a região do rio Jaguaribe no litoral leste do estado do Ceará, são áreas ocupadas pelos mangues às porções topograficamente mais baixas que são cobertas pelo menos duas vezes por dia de água salgada, por estarem situadas entre as marés baixa e alta e do solo tipicamente argiloso rico em matéria orgânica.

A vegetação do tipo mangue (Figura 3) é reconhecida pela legislação ambiental nacional como *Área de preservação permanente* pelo Art. 2 da lei 4771/65, que a considera como florestas e demais formas de vegetação natural.

No estado Ceará, as espécies de vegetação que compõe o mangue são: *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana* e *germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus*. Porém, é observado que a abundância dessas espécies variam de modo significativo de um estuário para outro.



Figura 3 – Vegetação do tipo *Rhizophora mangle* no estuário do rio Coreaú.

3.3.2. Fauna

Os estuários apresentam uma fauna composta por vários grupos de animais que ocupam diferentes níveis tróficos, e procuram áreas ideais para a alimentação, crescimento, produção e reprodução. Animais que ocorrem em estuários realizam migrações diárias, mensais e anuais, passando parte ou toda a vida nestes ambientes naturais. A fauna estuarina representa uma importante fonte de alimentos para populações humanas ribeirinhas e costeiras que sobrevivem da pesca, sendo também uma fonte protéica animal com alto valor nutritivo (SCHAEFFER – NOVELLI, 2003).

FURTADO-NETO *et al* (2005), estudando a fauna aquática do estuário do rio Coreaú, observaram uma grande diversidade de espécies nesse corpo hídrico, identificando 62 espécies de peixes, 7 espécies de crustáceos e 7 espécies de moluscos, totalizando 76 espécies de animais aquáticos ao longo do estuário. (Figura 4)



Figura 4 – Caranguejo aratu (*Goniopsis cruentata*) no substrato emerso no estuário do rio Coreaú

3.4. Sensoriamento Remoto

O processamento digital de imagens consiste em melhorar o aspecto visual de feições estruturais para o analista, fornecendo outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos. A área de processamento digital de

imagens tem atraído grande interesse nas últimas duas décadas. A evolução da tecnologia de computação digital, bem como o desenvolvimento de novos algoritmos para lidar com sinais bidimensionais está permitindo uma gama de aplicações cada vez maior (GONZALEZ; WOODS, 2000).

A utilização de imagens multiespectrais coletadas por satélites tais como, Landsat, QuickBird etc, tem se mostrado uma valiosa ferramenta para a extração dos dados destinados às várias aplicações de pesquisa. A obtenção das informações espectrais registradas pelos sistemas nas diferentes partes do espectro eletromagnético, visando a identificação e discriminação dos alvos de interesse, depende principalmente da qualidade da representação dos dados contidos nas imagens.

Pesquisas recentes na área recursos naturais vem adotando essa tecnologia com frequência, visando uma melhor interpretação das feições naturais e atividades antrópicas, com o objetivo de quantificar e qualificar as mesmas num dado ecossistema.

3.5. Levantamento batimétrico

O levantamento batimétrico pode ser definido como a técnica de estabelecermos uma posição geográfica no ecossistema aquático por intermédio da análise da topografia do substrato. Para isso, é utilizado o equipamento denominado ecobatímetro.

É uma das ferramentas para a obtenção de dados físicos que dão suporte para futuras tomadas de decisões acerca de um dado ecossistema.

A análise batimétrica possibilita a obtenção de um mapa de profundidade, garantindo uma maior segurança na navegação e na prática da atividade pesqueira. Também subsidia estudos de capacidade de suporte, onde se quantifica o nível de impacto sobre um ecossistema e estima-se a possibilidade da inserção de novos projetos no mesmo de modo sustentável. Além dessas aplicações, o mapeamento batimétrico também é aplicado em estudos de dragagem para captação de água por meio de bombeamento, prática muito comum na carcinicultura, em portos na estabilização do canal de

acesso das embarcações, em estudos sobre a taxa de sedimentação, entre outros (FARIAS *et al*,2005) .

3.6. Físico-química da água

Os estuários são áreas de transição entre o continente e o oceano, sendo as características das águas estuarinas determinadas pela natureza do aporte fluvial e pela ação das marés que inundam periodicamente estas áreas. As condições hidrodinâmicas de circulação dos estuários, ao mesmo tempo em que estimulam a produtividade biológica nestes corpos d'água também são muito atrativas e intensamente utilizadas, ao longo do tempo, para o desenvolvimento das sociedades humanas (MIRANDA *et al* 2002 *apud* SEMACE/LABOMAR(a), 2005).

A intensa utilização antrópica destas zonas está relacionada à facilidade de instalar portos, constituição de vias de acesso para o interior do continente, renovação constante de águas devido à ação da maré e por ser uma importante fonte de recursos biológicos para consumo humano (SEMACE-LABOMAR(b),2005).

Um dos principais impactos nas águas estuarinas vem em decorrência da emissão de efluentes oriundos das diversas atividades humanas para o interior do estuário. Esta adição de compostos pode alterar a qualidade da água, comprometendo os múltiplos usos das águas estuarinas.

Deste modo, a análise físico-química das águas estuarinas é primordial na análise de qualidade, indicando a influência das ações naturais e atividades humanas.

3.7. Climatologia e Hidrologia

O estado do Ceará, por estar na sua quase totalidade na região semi-árida, apresenta regime pluviométrico, térmico e distribuição das precipitações de acordo com fatores geográficos de latitude, altitude e topografia, possuindo características de acordo com a mesorregião. A área da bacia do rio Coreaú, está localizada na mesorregião Noroeste cearense, onde nos últimos 40 anos a pluviosidade média anual na bacia do Coreaú, é de 1200 mm (FUNCEME, 2005).

A temperatura média anual na bacia do Coreaú é na ordem de 26.6 °C, enquanto a precipitação total é de 960.4 mm, os valores de umidade relativa e insolação total são 67.9 e 2416.6 hs respectivamente (FUNCEME, 2005).

O regime pluviométrico é o reflexo da ação conjugada dos sistemas de circulação atmosférica e dos outros fatores geográficos, apresentando o estado do Ceará regime pluviométrico do tipo tropical, caracterizando-se pela marcante irregularidade de chuvas no tempo e no espaço. (SILVA, 1985).

As precipitações ocorrem sempre no primeiro semestre do ano, com valores máximos nos meses de março e abril, chegando a atingir 90% das precipitações anuais (OLIVEIRA, 1976).

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em etapas de planejamento, execução e finalização. Dentro da fase de planejamento foram considerados o processamento digital de imagens de satélite da área e a definição da rota a ser percorrida dentro do estuário. A fase de execução corresponde aos trabalhos de campo, onde foi realizada a aquisição de dados hidroquímicos, batimétricos, análise de condições de maré dentro do estuário e reconhecimento de feições flúvio-marinhas e empreendimentos aquícolas, a partir do processamento digital das imagens de satélite durante a etapa de planejamento. A etapa de finalização consiste na análise dos dados obtidos referentes a hidroquímica, além dos procedimentos de processamento dos dados adquiridos em formato de posição geográfica, profundidade e hora para cada ponto registrado, correção de maré admitindo o atraso da maré nas porções mais distais do mar, geração de uma malha regular (GRIDE), quantificação do volume de água, produção de mapa batimétrico e geoambiental.

4.1. Localização da Área

A área de estudo está localizada na região Nordeste do Brasil, mais precisamente na porção oeste do litoral do estado do Ceará (Figura 5). O manguezal do rio Coreaú se estende desde o município de Granja até o estuário do rio na cidade de Camocim, dos maiores do estado do Ceará, e compreende uma área de aproximadamente 4.620 ha, correspondendo a 20% dos manguezais do Ceará (CAMPOS & POLETTE, 2003). Com uma área de 4.225 Km², a bacia do rio Coreaú abrange diversos municípios, tais como: Coreaú, Freicheirinha, Camocim, Granja, Uruoca dentre outros.

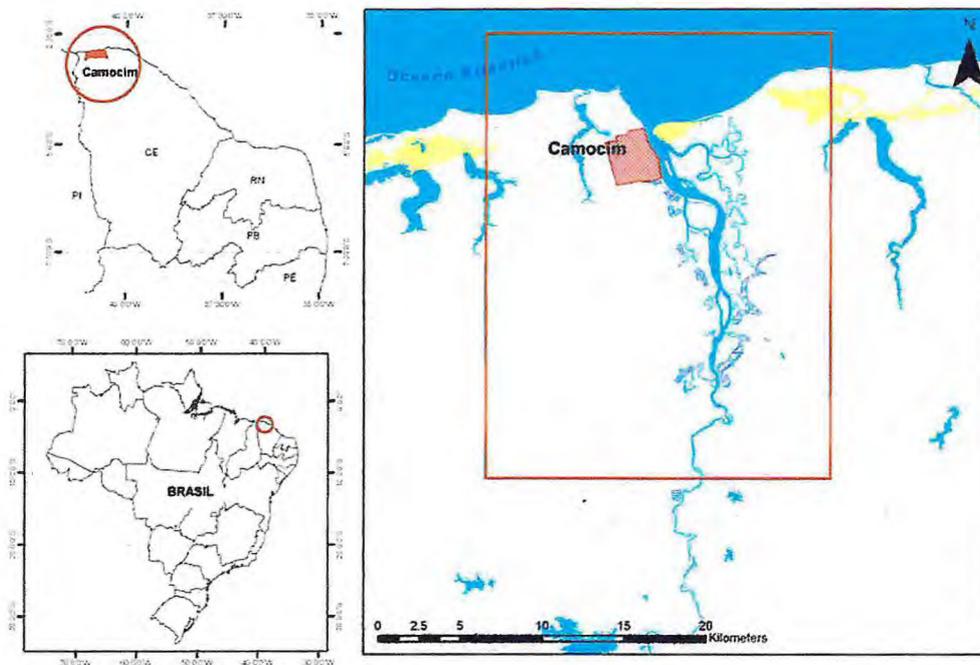


Figura 5 – Mapa de localização.

4.2. Etapa de Planejamento

4.2.1. Levantamento Bibliográfico

Inicialmente foi coletado o máximo de informações possíveis na literatura científica, visando um ótimo entendimento acerca de todas as características ambientais da área em questão.

4.2.2. Processamento Digital de Imagens (PDI)

As imagens de satélite, em meio digital, possuem dados acerca de corpos físicos contidos sobre a superfície terrestre que podem ser identificados por intermédio do processo de classificação. Esse processo se baseia na distinção de diferentes alvos que possuem comportamentos espectrais diferenciados, os quais permitem a sua identificação. A classificação digital de imagens associa cada pixel da imagem a uma determinada feição terrestre obtendo-se como resultado a identificação e extração de informações da área desejada, sendo indispensável em qualquer projeto de classificação e mapeamento envolvendo informações obtidas por meio de sensoriamento remoto.

O presente trabalho utilizou imagens digitais do satélite LANDSAT 7 ETM+, extrato da cena 218-62, referente à área do estuário do rio Coreaú para o ano de 2002, utilizando a faixa espectral do visível infravermelho (VISIR, com resolução espacial de 30 metros) e pancromática (PAN, com resolução espacial de 15 metros) georreferenciadas para o datum horizontal SAD 69.

O processamento digital das imagens realizado no software ENVI 3.5 e posteriormente, as imagens foram integradas e georreferenciadas utilizando o software ArcGIS 8.1.

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 as áreas de manguezais e áreas de ocupação pela 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 (MONTEIRO, 2005).

4.2.2.1. Satélite LANDSAT

A série LANDSAT teve início no fim da década de 60, por intermédio de um projeto da Agência Espacial Americana, cujo objetivo é a observação dos recursos naturais terrestres. O primeiro satélite da série começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999 com o lançamento do LANDSAT 7.

Atualmente o único satélite em operação é o LANDSAT-5, que leva a bordo o sensor TM e contribui para o mapeamento temático da superfície terrestre. O LANDSAT-7 iniciou suas atividades em abril de 1999 e encerrou em 2003, utilizando o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Este instrumento foi capaz de ampliar as possibilidades de uso dos produtos

LANDSAT, porque manteve a alta resolução espectral (característica importante desse sistema) e conseguiu ampliar a resolução espacial da banda 6 (Infravermelho Termal) para 60 metros além de inserir a banda pancromática e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução.

4.2.2.2. Banda 8 LANDSAT 7 ETM+

A banda 8 do satélite LANDSAT 7 ETM+, possui resolução geométrica pancromática, o que confere uma projeção espacial de 15 metros, permitindo uma melhor definição nos contornos das feições naturais apresentadas pela imagem. A utilização da banda 8 nos permite trabalhar numa escala mais favorável de precisão, visto que ao utilizarmos as demais bandas do satélite, obtemos uma escala de 1:50.000 e ao utilizarmos a banda 8, a escala de mapeamento pode atingir valores em torno de 1:25.000.

4.3. Etapa de Execução

4.3.1. Equipamentos e Embarcação

Para a navegação no rio foi utilizado um barco de alumínio de 0,5 m de calado, com propulsão de um motor de popa de 25 hp e gerador elétrico de 6,0 volts (Figura 6). Foi acoplado o suporte da antena do GPS e do transdutor a boreste da embarcação.

Foi utilizada uma ecossonda conjugada a um GPS, modelo GPSMAP 238 *Sounder* GARMIN, transdutor de resolução de 0,01 metros de profundidade e sensor de temperatura, antena externa, recepção para 12 canais e receptor diferencial (Figura 7). A ecossonda implementa um sistema de aquisição de dados de profundidade, hora, e coordenadas, acoplado a um laptop. O taxa de transmissão dos dados é de 1/segundo e estes estão no formato NMEA na versão 2.3.



Figura 6 – Embarcação com sistema de localização GPS e ecobatímetro utilizada em campo.

Para obter coordenadas de pontos no terreno de forma remota, usa-se atualmente a técnica do GPS (*Global Positioning System*). Esta técnica, inicialmente de uso militar e atualmente liberada para uso civil (com restrições), consiste no rastreamento, recebimento e registro de sinais de satélites específicos. Estes sinais são processados em combinação com determinados parâmetros (efemérides) para calcular as coordenadas de um ponto no terreno.

Para alimentação de força na embarcação foi usado um conversor de 12 volts para 110 volts. Este ficava ligado a uma bateria de 12 volts com amperagem de 42 A alimentada, por sua vez, pelo gerador de 6 volts do motor de popa. Desta forma foi possível manter uma autonomia de 12 horas de trabalho por recarga dada à bateria de 12 volts, mantendo um sistema com a ecosonda de 8 a 38 volts e um laptop de 110 volts.

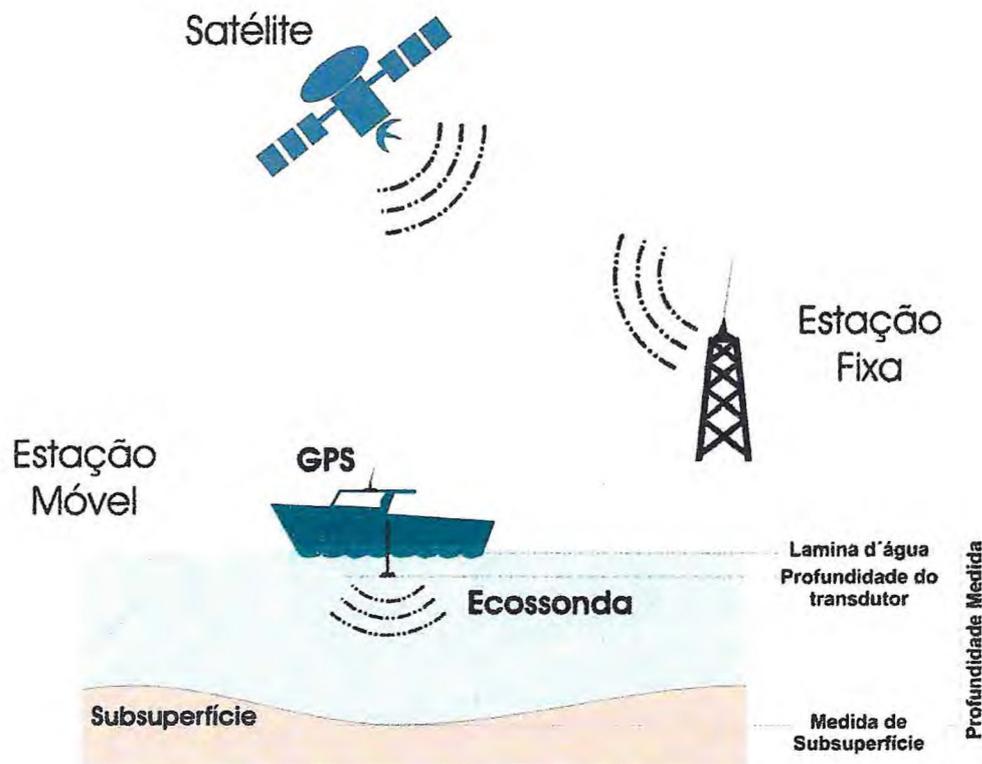


Figura 7 – Esquema básico do sistema de batimetria.

4.3.2. Aquisição de Dados

Os dados eram salvos em um laptop em formato ASCII no padrão NMEA 2.3. As sentenças utilizadas para o processamento foram a GPGLL e SDDBT onde trazem as informações para elaboração de tabelas no formato XYZ, coordenadas e profundidades.

4.3.3. Comportamento das Marés

As oscilações do nível d'água nos mares e estuários são controladas pelo fenômeno das marés, que por sua vez são definidas como ondas oceânicas caracterizadas por oscilações periódicas sobre um intervalo de tempo que pode variar em função da localização global. De maneira mais simples, podemos definir dois tipos de marés: *sizígia* onde são registradas as maiores amplitudes de maré, e *quadratura* a qual se dá o oposto da maré de sizígia. Estas variações são controladas pela conjunção astronômica entre a Terra, Lua e o Sol. Quando alinhados correspondem às luas Nova e Cheia das

fases lunares, definindo então as marés de sizígia. Quando a Lua se posiciona em quadratura com a Terra e o Sol define-se a maré de quadratura durante as fases Quarto-Crescente e Minguante do ciclo lunar.

Estudos do ciclo de maré foram realizados no estuário do Rio Coreaú, nos dias 12 e 13 de Janeiro de 2005 (período este de maré de sizígia), para obter fatores de correção para o levantamento batimétrico de modo a permitir a previsão do mesmo com base nas previsões para o porto de Luís Correa (Estado do Piauí), em medições realizadas ao longo do estuário, em campanhas de campo com duração de 12 horas de observação, onde foram obtidos registros horários da variação do nível de água no estuário por meio de uma régua maregráfica graduada em centímetros, com tamanho máximo de 4 metros implantada na ilha dos Preás sob as coordenadas 297781N e 9677829E.

Os dados de variação de nível de água foram submetidos à análise harmônica empregando a rotina desenvolvida por FRANCO (1988) e reduzidos para o zero hidrográfico da DHN que, para dezembro, correspondia a um valor mínimo de 0,6 metros. Os dados foram posteriormente comparados com as alturas de maré previstas para o porto de Luís Correa (Estado do Piauí)

4.3.4. Caracterização Hidroquímica

A obtenção de dados referentes à hidroquímica do Coreaú foi realizada visando à avaliação da dinâmica dos principais parâmetros físico-químicos da água do estuário. Desse modo fez-se possível avaliar a dinâmica salina e descrever a qualidade da água.

Para atingir essa meta, foi realizada campanha de campo com o auxílio de uma sonda multiparamétrica portátil YSI 556 (Figura 8), previamente calibrada com solução padrão (*probe solution cód. YSI 5906*). Este equipamento foi utilizado para medir os seguintes parâmetros: Temperatura, Condutividade, Sólidos Totais Solúveis, Salinidade, Oxigênio Dissolvido e pH. Foi também observado os índices de transparência da água com o auxílio de um disco de Secchi (Figura 9).



Localidade: *Corrego Alegre* ESTAÇÃO: *02*

Data/Hora	Medidas superficiais	Medidas em profundidade	OBS
Temp °C	<i>21,67</i>		
Cond mS/cm	<i>0,607</i>		
DO%	<i>104,6</i>		
pH	<i>7,82</i>		
ORP	<i>249,2</i>		

Figura 8 – Sonda multiparamétrica portátil YSI 556



Figura 9 – Disco de Secchi

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise Comparativa da RGB 432 para os anos de 1975 e 2001

Foram utilizadas imagens LANDSAT 2 para o ano de 1975 (Figura 10) e LANDSAT 7 para o ano de 2001 (Figura 11), ambas com composição RGB 432 visando identificar mudanças morfológicas ocorridas no estuário do Coreaú e nas áreas adjacentes.

Inicialmente, foi observado no ponto 1 em cor branca, o avanço de áreas de dunas na área próxima a desembocadura do rio. Tal fato, mostra a grande dinâmica deste ecossistema, visto que esses depósitos arenosos são consequência da movimentação de massas d'água e da dinâmica eólica da região.

Os pontos 2, 4, 8, 7 e 9 mostram em tons de vermelho escuro um aumento nas zonas de mangue ao longo de todo o estuário. Este processo tem início na zona próxima a foz e possui caráter gradativo ao longo do Coreaú. Em outras partes do mundo também pode ser observado o mesmo fenômeno como na Baía de Jervis, no litoral sul da Austrália (WILTON, 2002, SAINTILAN *et al*, 2001). Esse fenômeno pode estar associado à elevação do nível atual do mar, bem como ao excessivo barramento de alguns rios que culmina num menor aporte de água doce oriundo dos mesmos.

Os pontos 3 e 5 mostram que ao compararmos as imagens evidencia-se em tons de azul escuro uma melhor delimitação dos meandramentos existentes na calha fluvial deste estuário.

O ponto 6 mostra a formação de barras arenosas em tons de marrom ao longo do estuário. O que indica que ao longo dos anos os níveis de deposição sedimentar aumentaram consideravelmente.

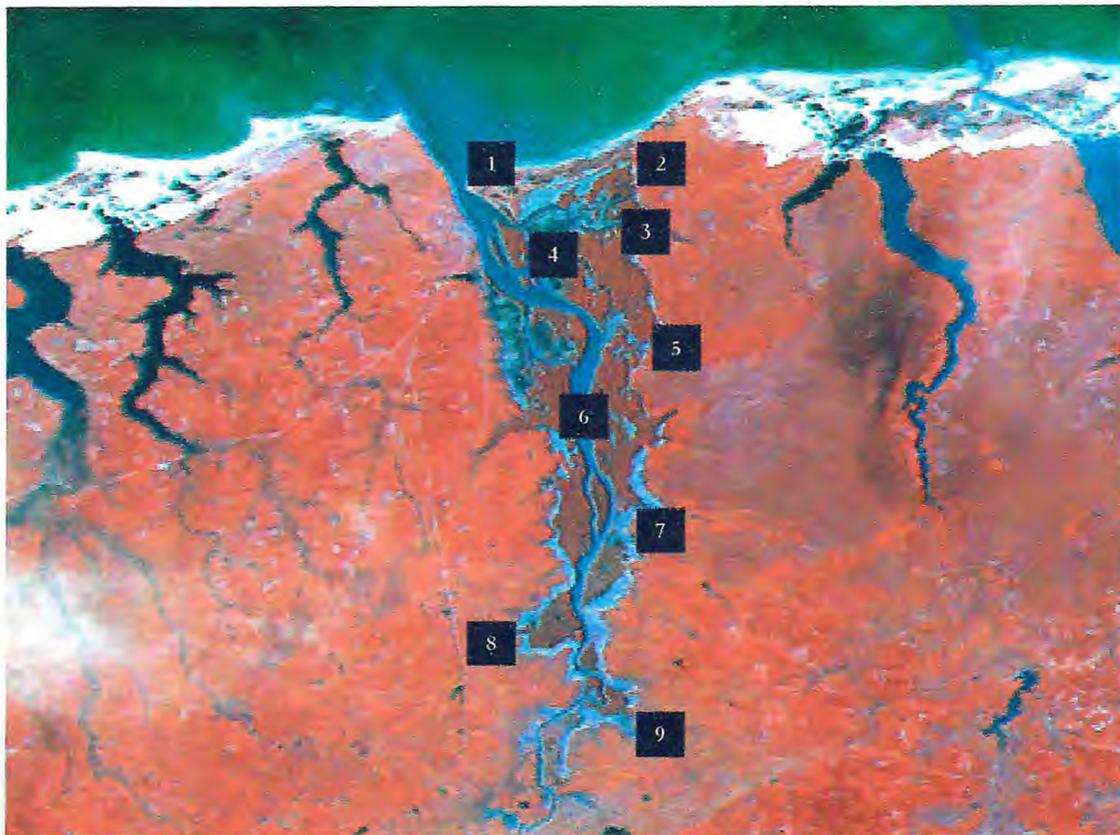


Figura 10– Composição RGB 432 do satélite LANDSAT 2, para o ano de 1975

5.2. Interpretação das composições do satélite LANDSAT 7 ETM+

Foram adotadas diversas composições do satélite LANDSAT visando a discriminação de áreas flúvio marinhas e empreendimentos aquícolas ao longo do estuário do rio Coreau.

Como referência de base para a identificação das feições admitiu-se o uso das composições das bandas espectrais LANDSAT: 432, 543, 321 e 752, todas sob o sistema RGB (Red, Green e Blue). Para a obtenção na definição dos contornos foi utilizada a Banda 8 de resolução pancromática (15 metros) para o satélite LANDSAT 7 ETM+.

A composição RGB 432(Figura 11) propicia a identificação da porção vegetal, apresentando as áreas de manguezais em tom vermelho escuro. Por intermédio desta composição também é possível identificar aglomerados

urbanos em tons de marrom claro e bege, áreas de manguezais degradados que são observados na imagem providos de coloração marrom escuro, enquanto que os depósitos arenosos ao longo do canal do rio aparecem em tom de marrom claro.

As zonas alagadas aparecem na imagem em tom de azul claro, porém, costumeiramente não se utiliza a RGB 432 para a identificação desta feição natural, visto que esta composição não distingue com clareza as zonas alagadas dos empreendimentos aquícolas.

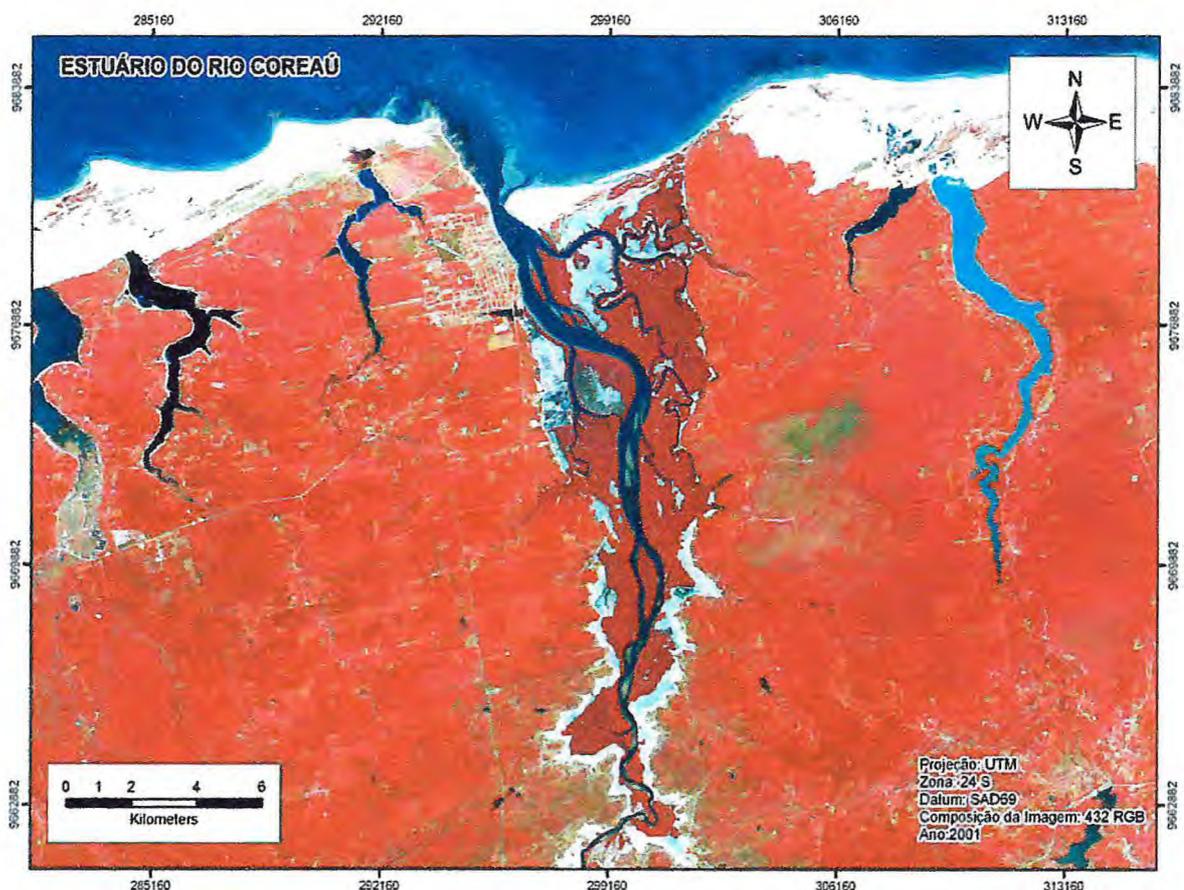


Figura 11– Composição RGB 432 do satélite LANDSAT 7 ETM+ para o estuário do rio Coreáú.

A composição RGB 321(Figura 12) nós dá uma visualização mais próxima do que ocorre no meio natural, correspondendo a uma imagem que nos permite uma visualização aérea do ecossistema. Esta composição também nos permite analisar feições marinhas rasas e plumas de descarga dos rios.

Nessa composição, os manguezais se apresentam em tons de verde escuro, distinguindo-se facilmente dos outros tipos de vegetação (e.g. Tabuleiro) que circundam os mangues que se apresentam em tons de verde claro. Os solos expostos apresentam tonalidades variando do amarelo ao branco. A zona oceânica pode ser facilmente identificada devido à sua coloração azul clara enquanto o rio possui coloração azul escuro.

Os aglomerados urbanos também podem ser identificados nessa composição em tons de marrom claro e bege.

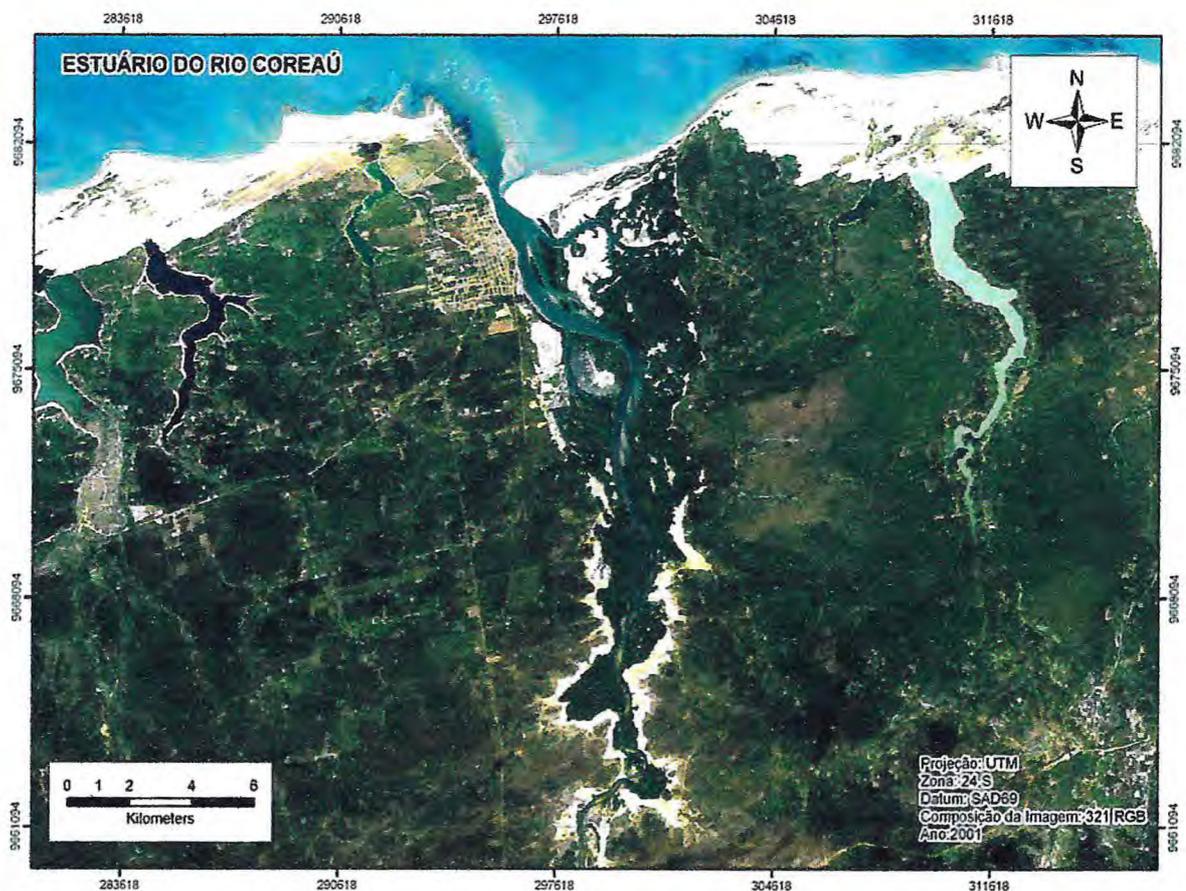


Figura 12– Composição RGB 321 do satélite LANDSAT 7 ETM+ para o estuário do rio Coreáú.

A composição RGB 752 (Figura 13) é utilizada em trabalhos de identificação de unidades geoambientais, visto que esta destaca as planícies fluviais e flúvio-marinha em comparação às vegetações de tabuleiro ou qualquer outro tipo de vegetação que as circundem. As diferentes tonalidades

de verde mostradas na composição facilitam a identificação de diferentes tipos de vegetação. Esta composição também se mostra muito eficiente para o mapeamento das zonas urbanas que se distinguem com bastante contraste devido a sua coloração amarela queimada.

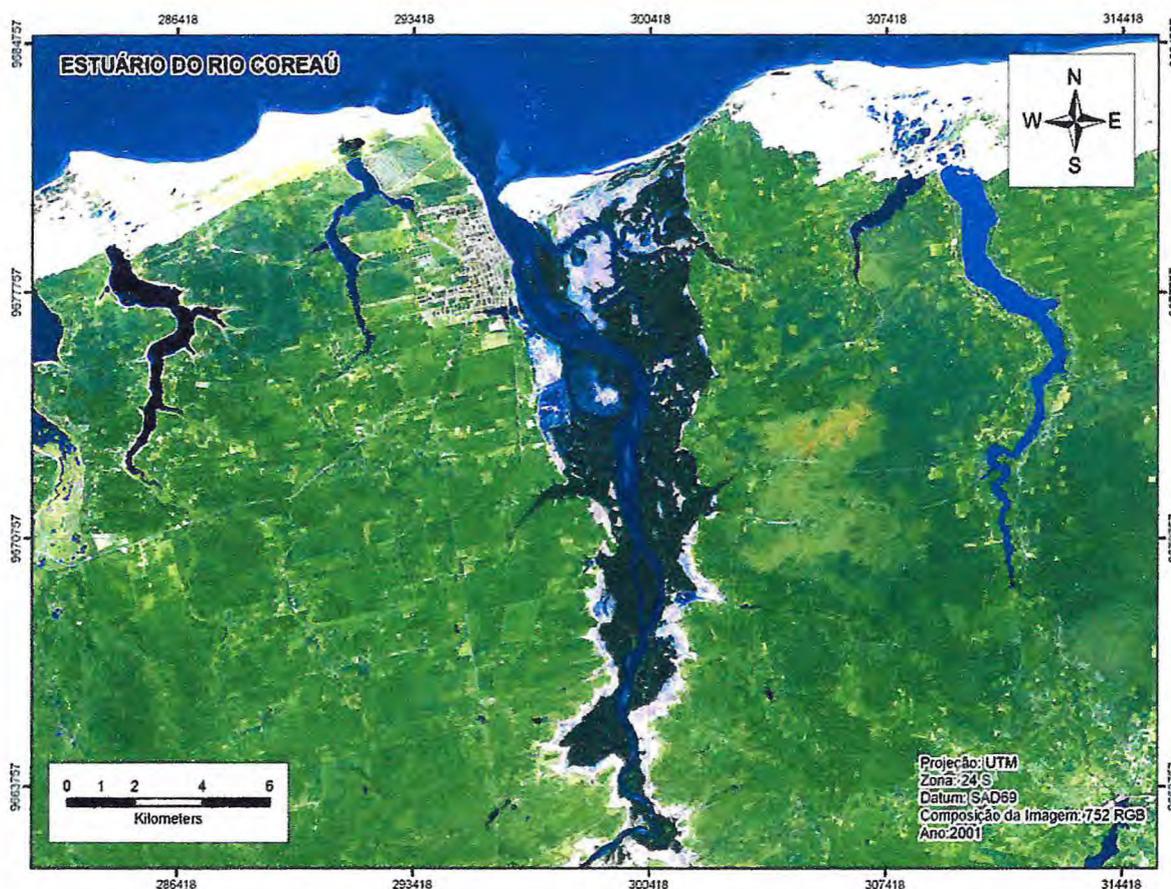


Figura 13– Composição RGB 752 do satélite LANDSAT 7 ETM+ para o estuário do rio Coreaú.

A composição RGB 543 (Figura 14) é utilizada em trabalhos referentes ao uso e ocupação do solo, sendo costumeiramente utilizada para identificar zonas urbanas, loteamentos ou regiões que foram exploradas de alguma forma pela atividade antrópica. Estas áreas mostram-se na composição em tons de rosa com leve coloração marrom e limites pouco sinuosos. Os loteamentos possuem tons de verde, enquanto as áreas de planície fluvial, flúvio-marinha e de inundação possuem tonalidades tendendo ao lilás, porém quando circundam corpos hídricos podem variar de azul claro a escuro. Esta

composição não é recomendada para a identificação dos tipos de vegetações devido à pouca variação de tonalidades variando do verde claro ao escuro.

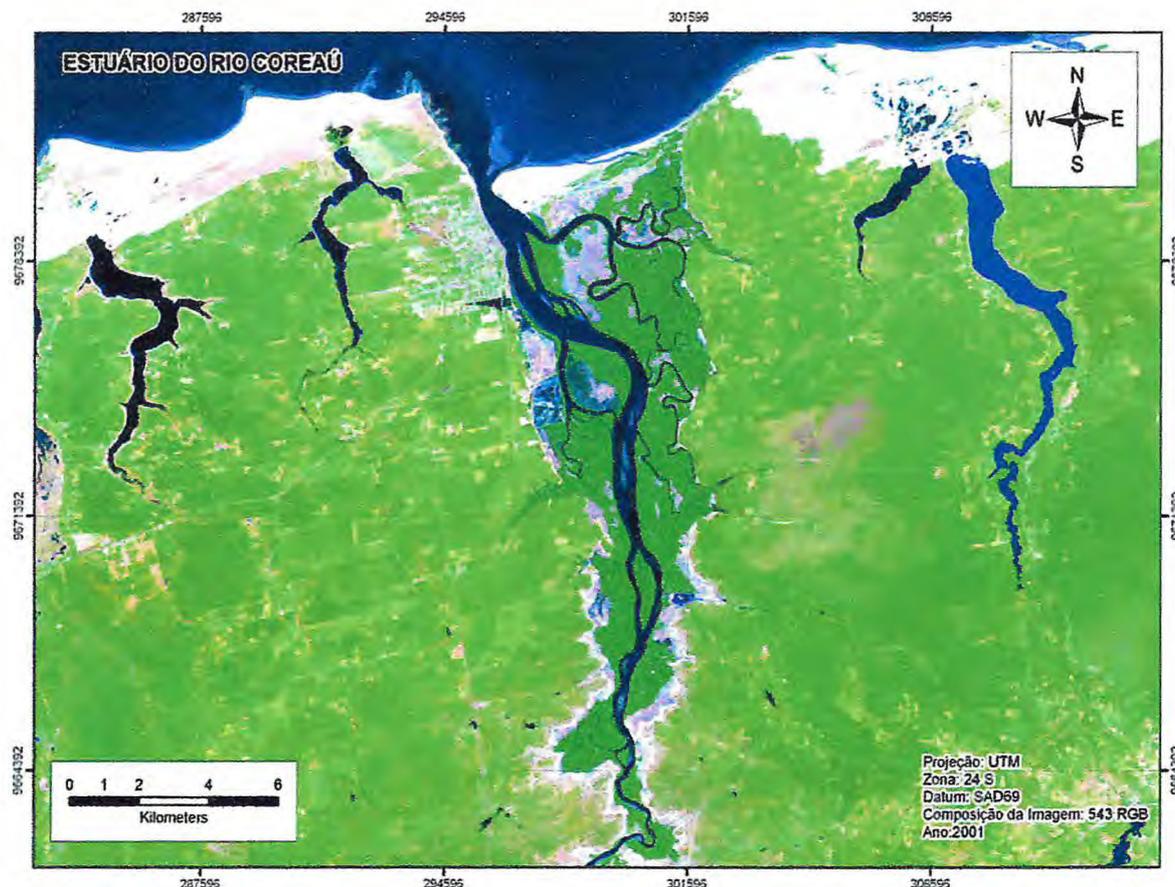


Figura 14– Composição RGB 543 do satélite LANDSAT 7 ETM+ para o estuário do rio Coreáú.

Vale ressaltar, que a caracterização ambiental proposta por este relatório, utilizou as composições do satélite LANDSAT 7 ETM +, objetivando a identificação das unidades referentes à planície flúvio-marinha e os empreendimentos aquícolas.

5.3. Caracterização Geoambiental

O mapeamento das feições do estuário do rio Coreáú contemplou a zona flúvio-marinha e as atividades de carcinicultura, dentro da área de estudo.

A obtenção do mapa (Figura 20) foi realizada pela interpretação das composições espectrais das imagens do satélite LANDSAT 7 ETM+ para o

ano de 2001, referente à cena 218-62, todas sob o sistema RGB (Red, Green e Blue). Para a obtenção na definição dos contornos foi utilizada a Banda 8 de resolução pancromática.

Foram identificadas 8 feições ao longo do estuário, sendo 6 feições naturais e 2 feições antrópicas.

Inicialmente a linha de costa foi identificada e delimitada visando identificar a zona estuarina na imagem. A primeira feição observada foram os depósitos arenosos, caracterizados pela presença de sedimentos de granulometria média nas zonas de praia, constituídos basicamente de fragmentos quartzosos, seichos, cascalhos e restos de moluscos, enquanto os depósitos encontrados em regiões de dunas possuem granulometria fina e ausência de cascalhos e restos de animais.

Sua dinâmica na zona costeira é fortemente influenciado pelo clima de ondas e regime de ventos , em consequência, o antigo Terraço Marinho vem sofrendo modelamento, formando extensos Campos de Dunas Móveis e Planícies de Deflação. Na porção mais oriental da margem esquerda, estão se formando Cordões Litorâneos e barras (Figura 15).



Figura 15 – Depósitos arenosos próximos à desembocadura do estuário do rio Coreaú.

Por intermédio da imagem LANDSAT 7 também foi possível delimitar toda a calha fluvial do rio Coreaú, identificando inclusive as atividades aquícolas inseridas neste corpo e as zonas degradadas.

A principal atividade antrópica inserida no estuário do rio Coreaú é a carcinicultura, uma das principais geradoras de emprego e renda da região (Figura 16).

As zonas degradadas correspondem a áreas onde a vegetação foi desmatada e posteriormente demarcada com o objetivo de implantação de novos viveiros de carcinicultura.



Figura 16 – Fazenda de cultivo de camarões marinhos.

As barras arenosas existentes ao longo são consequência da deposição fluvial, em decorrência do regime hidrodinâmico do estuário.

As áreas de manguezais encontradas ao longo do estuário e identificadas na imagem mostram que estes são bem desenvolvidos e com diferenciação de tamanho.

Na região mais próxima da foz e nas margens dominam as *Rhizophora mangle*. Graças a suas raízes adventícias elas são capazes de se fixar até sobre as pedras (Figura 17).

As *Avicennias (schaueriana e germinans)* são encontradas mais a montante do estuário com seu pneumatóforos que permitem sua respiração mesmo na mãe cheia (Fotos 18) e ao longo do estuário mais montante começam aparecer às espécies de *Laguncularia racemosa* (Figura 19).

As zonas alagadas observadas com o auxílio do LANDSAT 7 correspondem às áreas de salgados e apicuns ao longo do Coreaú.

Vale ressaltar que algumas áreas onde para o ano de 2001 eram zonas alagadas segundo identificadas na imagem atualmente podem estar instaladas atividades de carcinicultura.



Figura 17 – *Rhizophora mangle*.



Figura 18 – *Avicennias* (*schaueriana* e *germinans*).



Figura 19 – *Laguncularia racemosa*

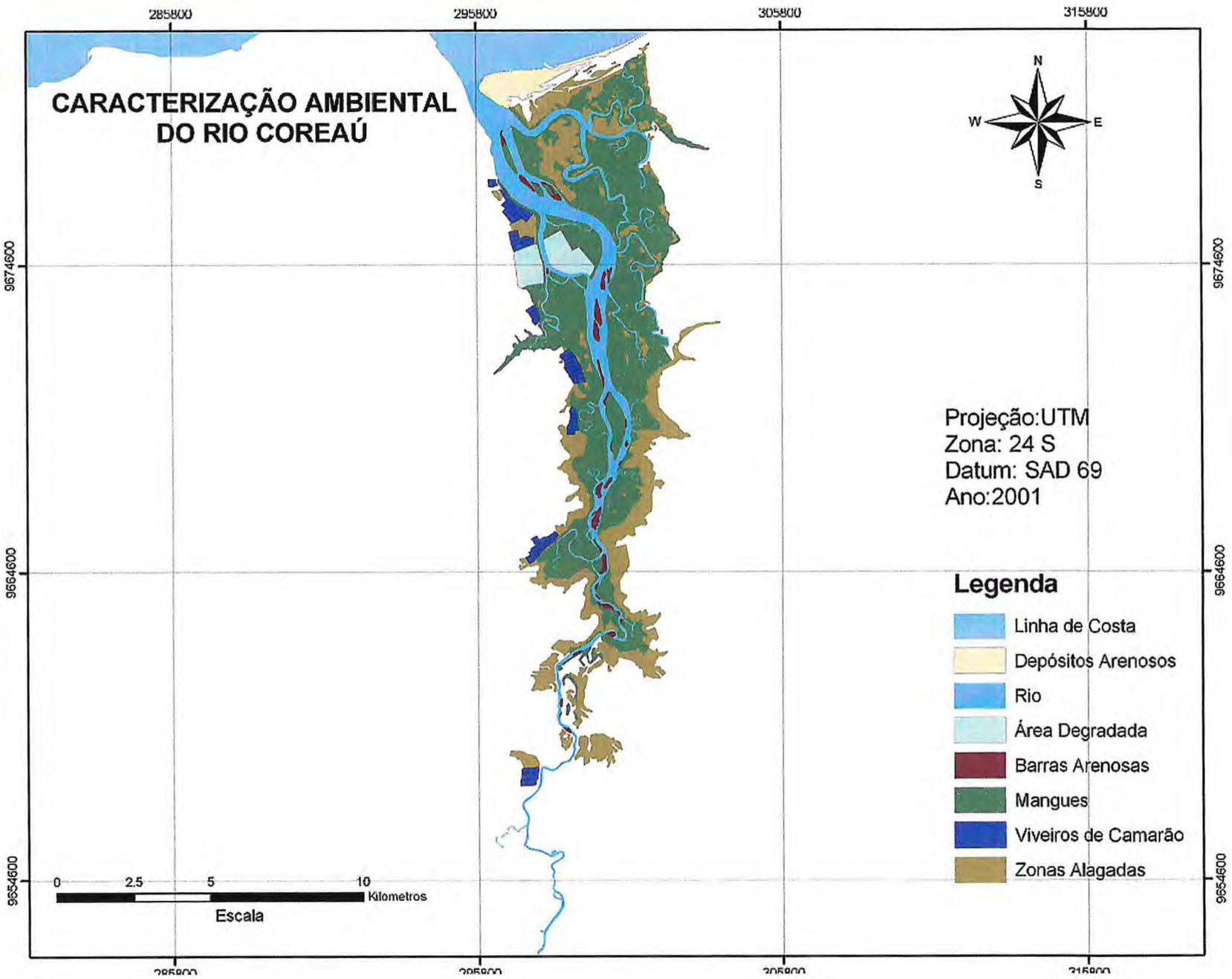


Figura 20 – Mapa ambiental do estuário do rio Coreaú.

5.4. Medição do Comportamento das Marés

O comportamento do fluxo e amplitude de marés no rio Coreaú, realizado com o auxílio de régua maregráfica (Figura 21), mostra que a altura de maré medida no estuário apresenta-se menor do que a maré prevista para o Porto de Luís Correa - PI. Este fato pode ser considerado normal e de certa forma previsível, pois ocorre na maioria dos estuários do mundo.

Em geral observa-se uma diminuição no prisma de variação de maré em um estuário à medida que nos afastamos da foz do rio. Neste caso, os pontos de medição de dados de marés foram amarrados a um ponto estaqueado, na Ilha dos Preás, sob as coordenadas UTM 297781N e 9677829E. A aquisição dos dados referentes ao comportamento da maré nesse ponto foi posteriormente corrigida ao nível reduzido da Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil (DHN) para eliminar o efeito da maré obtida por intermédio das atividades de campo e a tábua de maré do porto de Luís Correa - PI, visando auxiliar a obtenção da modelagem batimétrica.

Os resultados obtidos nas medições de maré, para os dias 12 e 13 de Janeiro de 2005, possibilitaram a formulação de duas equações de curva de maré para cada dia considerando o atraso da maré com relação ao porto.

As equações obtidas foram:

- Equação para o dia 12/01/2005

$$Y = 0.0142x^2 + 0.6906x + 51.996$$

- Equação para o dia 13/01/2005

$$Y = 0.1234x^2 - 3.2837x + 22.151$$

Onde Y representa a diferença entre a profundidade medida ao nível reduzido da DHN e X é o tempo em que foi realizado o registro ecossonar.

Portanto, observou-se uma defasagem entre os pontos extremos de marés. Para os picos de maré alta foi estimado um atraso de 2:30 horas entre os picos de maré alta, e entre os picos de maré baixa uma defasagem de 3 horas. A amplitude da maré foi de 2,1 m no momento em que no mar a amplitude era de 3,3 m.

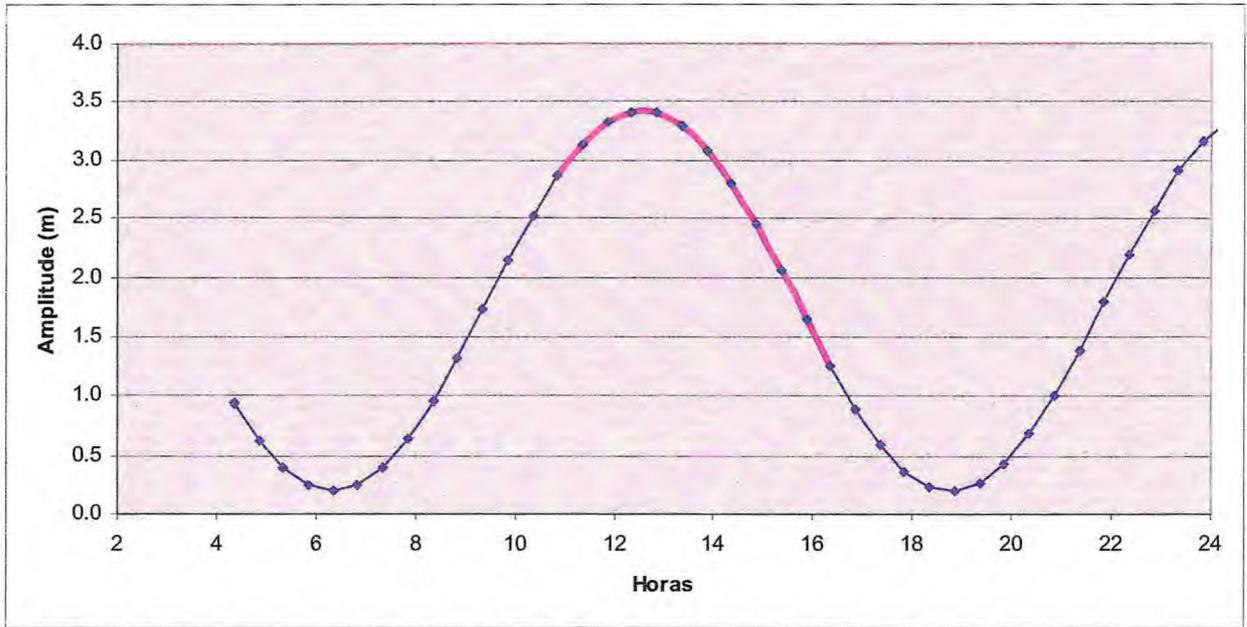


Figura 22 - Comportamento da Maré para o Estuário do Rio Coreaú em 12/01/2005

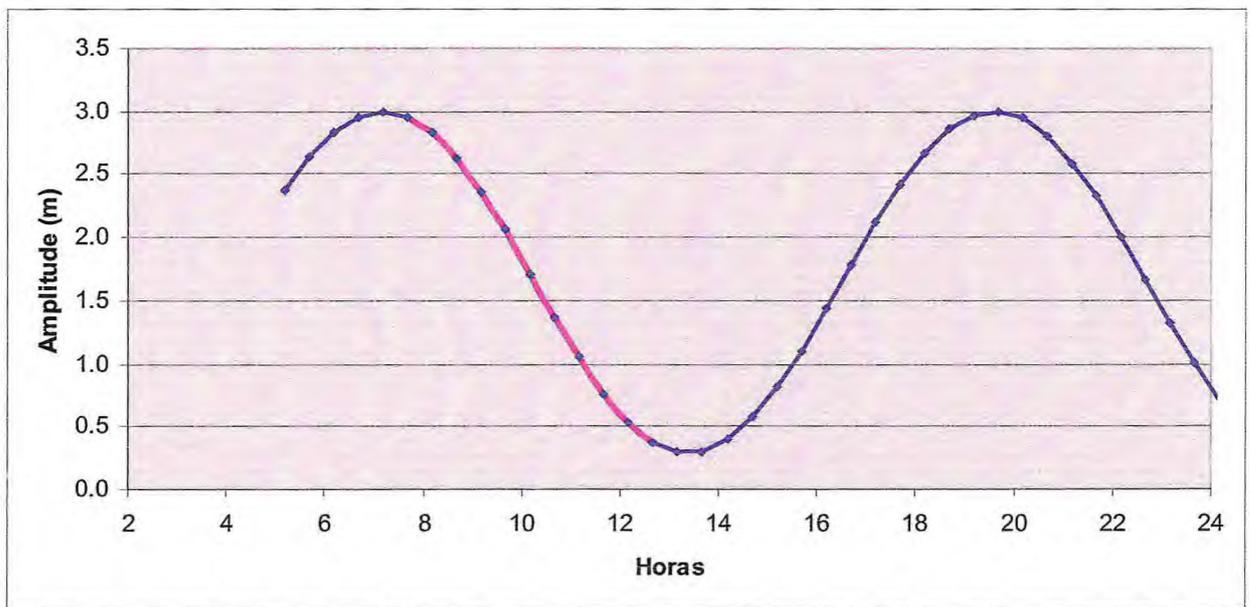


Figura 23 - Comportamento da Maré para o Estuário do Rio Coreaú em 13/01/2005.

5.5. Batimetria do Estuário do Rio Coreaú

O levantamento batimétrico foi realizado durante os dias 12 e 13 de Janeiro de 2005, onde por esta ocasião foi percorrida toda a porção navegável do Estuário do Rio Coreaú. Deste modo, o mapeamento foi realizado a uma velocidade média de 2,4 nós (equivalente a 4,5 Km/h) através de perfis transversais médios em torno de 140 m ao longo de todo estuário, sendo coletados 37840 pontos de ecobatimetria (Figura 24).

Os dados de profundidade foram corrigidos ao nível reduzido da Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil (DHN) para eliminar o efeito da maré, utilizando como base à curva de maré obtida por intermédio das atividades de campo e a tábua de maré do porto de Luís Correa - PI, objetivando dar suporte a correta modelagem batimétrica.

Os resultados do levantamento batimétrico mostram que a morfologia do fundo da área em estudo é caracterizada por um relevo em forma de calha apresentando conformação em V na porção da desembocadura, com largura média da calha em torno de 700 metros enquanto a porção central da área estudada e a área mais a montante apresentam conformação em U, com largura média do canal em torno de 350 metros.

A profundidade média do estuário é de 4,0 metros, com presença de picos de profundidade máxima em torno de 15 metros, sendo estes valores encontrados na zona próxima a desembocadura.

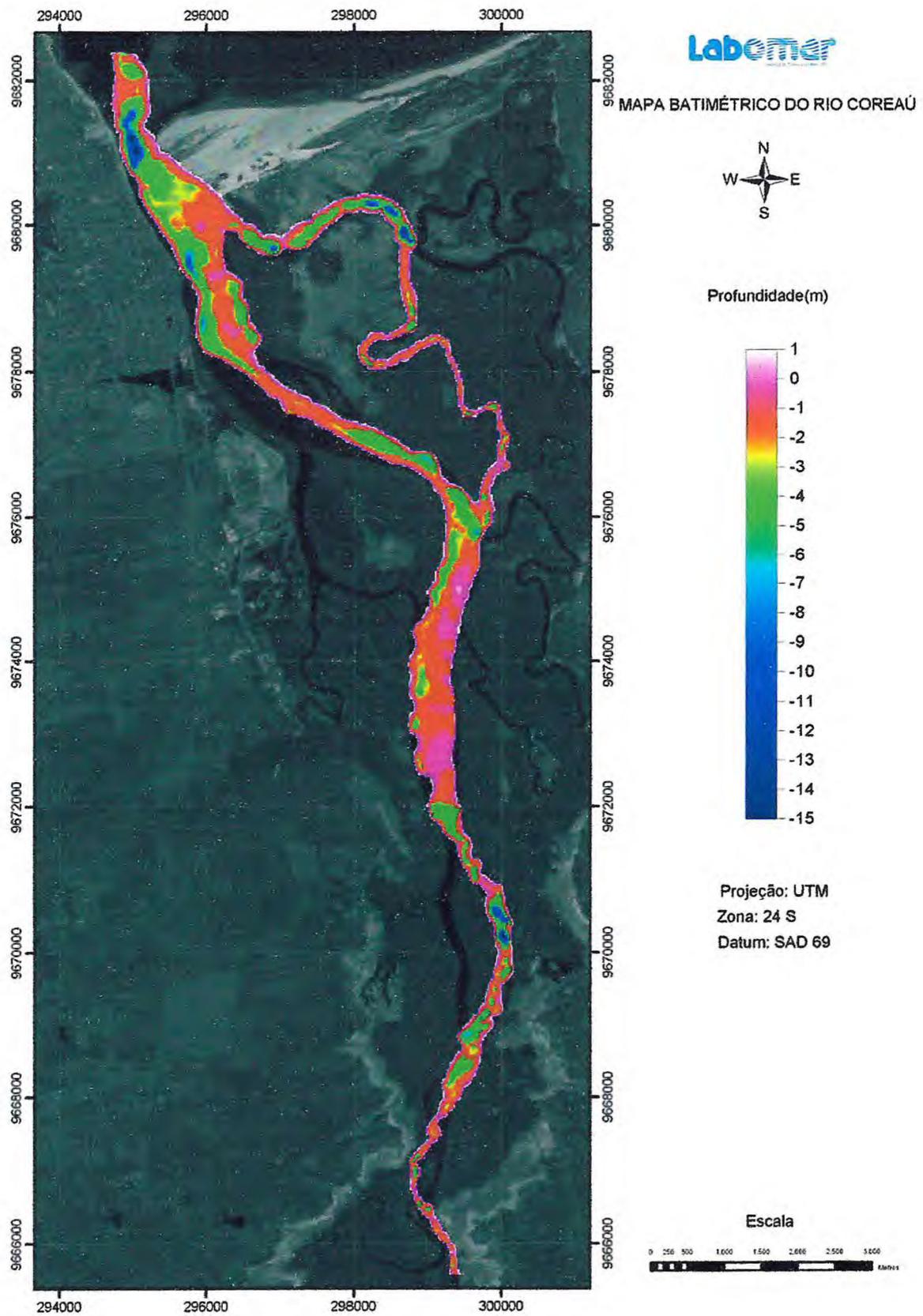


Figura 24 – Mapa batimétrico.

5.6. Cálculo do Volume do Estuário

Com o auxílio do software Surfer 8.0, foram obtidos dois volumes para o estuário do rio Coreau (Figura 25). O primeiro resultado foi concebido considerando o nível zero da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil – DHN, enquanto o segundo volume foi calculado considerando somente os valores de profundidade coletados em campo, abstendo-se de correções de maré.

Os dados de profundidade coletados em campo para o dia 12 de Janeiro de 2005 correspondem ao estuário sob condições de término de baixamar e início de preamar, enquanto os valores obtidos para o dia 13 de Janeiro de 2005 correspondem ao estuário apenas sob condições de baixamar. Dessa forma, pode-se ter uma idéia da grande dinâmica existente no estuário do rio Coreau. No nível médio das marés estima-se um volume de 7.768.000 m³ de água pela entrada das águas marinhas sobre o estuário, também denominado prisma de maré. Desse modo, os valores referentes ao volume do estuário do rio Coreau são os seguintes:

- Volume do estuário considerando correção maregráfica: **14.750.000 m³**
- Volume do estuário abstendo-se da correção maregráfica: **22.517.000m³**
- Volume do prisma de maré: **7.768.000 m³**



Figura 25 – Margem esquerda do estuário do Coreau próximo à desembocadura.

5.7. Parâmetros Hidro-químicos

A caracterização dos parâmetros físico-químicos do estuário do rio Coreaú foi realizada a partir da aquisição de dados ao longo do estuário (Figura 26) e apresentados na Tabela 1.

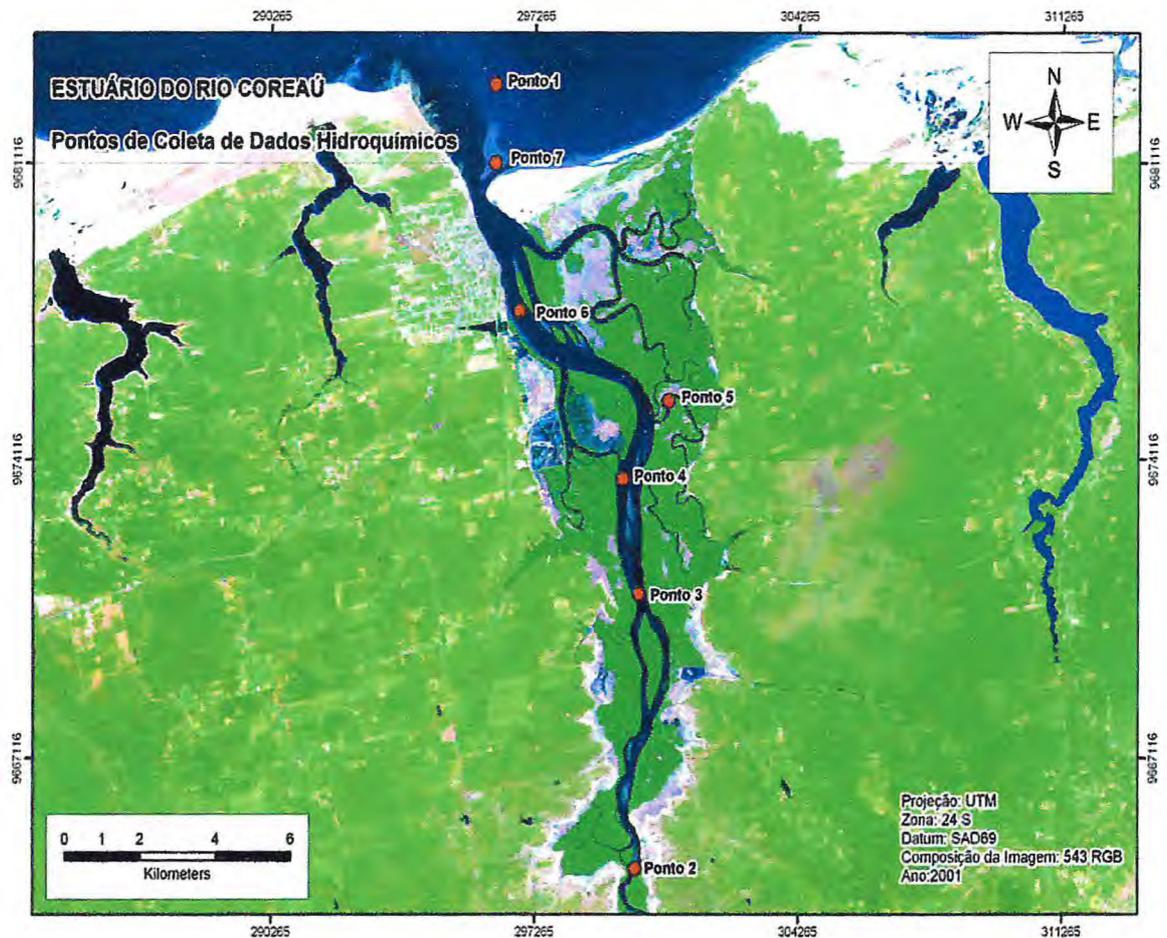


Figura 26 – Pontos de coleta ao longo do estuário.

Medições	Ponto 1		Ponto 2		Ponto 3		Ponto 4	
	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo
Profundidade(m)	5.2		1.9		3.1		1.3	
Transparência(m)	0.4		0.8		1.2		0.5	
Hora	10:05	10:05	14:15	14:15	15:00	15:02	10:45	10:48
Temperatura(°C)	28.31	28.3	30.15	30.14	30.19	30.11	28.64	28.67
Condutividade	61.71	61.71	73.46	73.42	73.12	73.45	64.98	65.14
Sólidos Totais Solúveis(g/L)	39.73	37.73	43.47	43.46	43.24	43.51	39.5	39.56
Salinidade(ppm)	38.63	38.64	45.32	45.31	45.04	45.36	40.69	40.74
Oxigênio Dissolvido(mg/L)	5.67	5.66	5.02	4.93	4.3	4.39	4.53	4.42
pH	9.08	9.06	8.6	8.6	8.67	8.65	8.84	8.81
	Ponto 5		Ponto 6		Ponto 7			
	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo		
Profundidade(m)	3.7		4.7		5.5			
Transparência(m)	0.4		0.4		0.3			
Hora	12:13	12:00	12:40	12:43	13:14	13:17		
Temperatura(Celsius)	29.37	29.34	29.04	29.01	29.11	29.09		
Condutividade	68.49	68.32	66.48	66.45	65.22	65.3		
Sólidos Totais Solúveis(g/L)	41.09	41.13	40.12	40.12	39.26	39.39		
Salinidade(ppm)	42.53	42.37	41.39	41.4	40.38	40.54		
Oxigênio Dissolvido(mg/L)	4.98	6.12	4.88	6.81	5.47	5.12		
pH	8.75	8.72	8.79	8.79	8.89	8.86		

Tabela 1 – Dados físico-químicos da água do estuário do rio Coreaú.

5.7.1. Avaliação da transparência

Os resultados obtidos com o auxílio do disco de Secchi, foram coletados entre 10:05 e 15:02, obedecendo à metodologia sugerida por ESTEVES (1998), onde segundo o autor os melhores resultados de transparência são obtidos nesse período.

Os dados de profundidade do disco de Secchi foram utilizados para efeito de cálculo do coeficiente vertical de atenuação (k), proposto por POOLE & ATKINS (1929). A profundidade do disco de Secchi é aproximadamente o inverso de k , sendo o valor do coeficiente vertical de atenuação usado para classificar o tipo de água (ESTEVES, 1998). O cálculo do k por intermédio da profundidade do disco de Secchi é efetuado pela seguinte equação:

$$K = \frac{1,7}{Z}$$

Onde Z é a profundidade obtida pelo disco de Secchi.

Os valores de k e o tipo de água encontrado para o estuário do rio Coreau estão dispostos na Tabela 2.

Pontos	k	Tipo de água
1	4,25	Preta
2	2,12	Fortemente túrbida
3	1,41	Fracamente túrbida
4	3,40	Distrófica
5	4,25	Preta
6	4,25	Preta
7	5,66	Preta

Tabela 2 – Valores de k para o estuário do rio Coreau.

Observou-se que os menores valores de k foram encontrados nos pontos com maior profundidade do disco de Secchi, o que sugere um baixo grau de opalescência por material em suspensão. É importante ressaltar que estes dados foram coletados para a época de estiagem, havendo possível variação caso seja comparado à época de chuva prevista para a região.

As maiores profundidades do disco de Secchi, se encontram nas regiões mais distantes da desembocadura do estuário. Visto que nestas áreas ocorre uma menor turbulência decorrente da pressão desenvolvida pelo encontro das águas marinhas com as águas fluviais.

5.7.2. Temperatura

Observa-se no estuário do rio Coreau a temperatura média da água em torno de 29 °C, com ausência de estratificação térmica quando comparamos os dados de superfície com os valores de fundo. Este fenômeno já era de certo modo esperado, visto que em corpos hídricos tropicais, devido à ação do vento ocorre uma redistribuição do calor por toda a massa d'água devido à

substituição constante da água superficial pelas camadas de água inferiores. Esse fenômeno pode ser facilmente constatado ao compararmos as temperaturas de superfície e fundo (Figura 27).

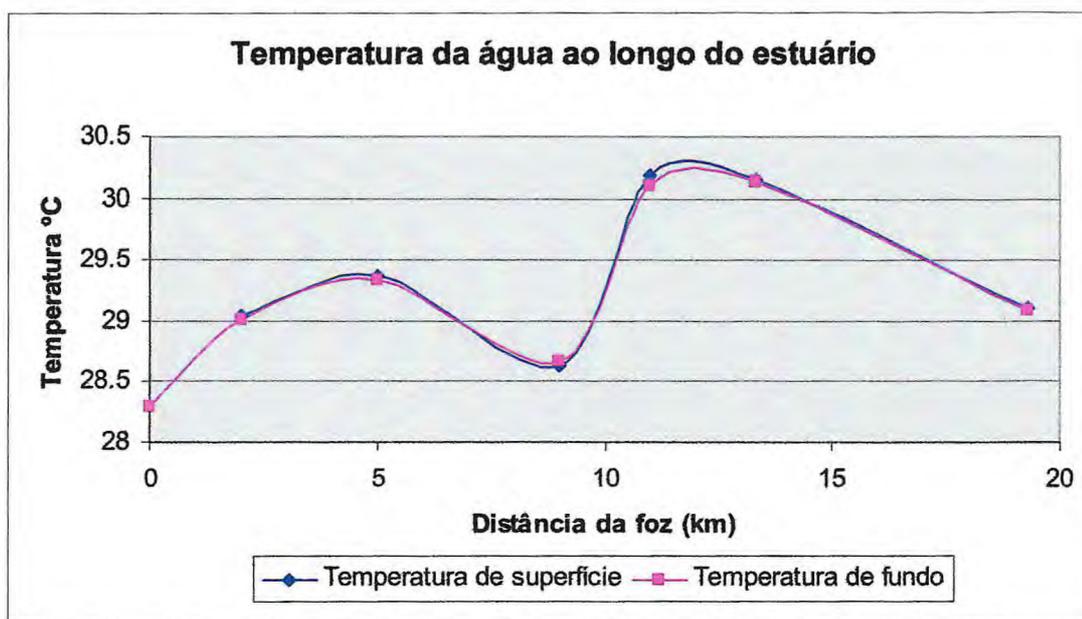


Figura 27 – Temperatura da água ao longo do estuário.

5.7.3. Salinidade

A salinidade do estuário, sugere que existe uma grande influência da água do mar neste corpo hídrico. Observa-se que à medida que se adentra o estuário da desembocadura para o rio a salinidade apresenta um comportamento crescente. Tal fenômeno é visto na maioria dos estuários do estado devido ao baixo regime pluvial da nossa região, caracterizado por grandes períodos de estiagem e curtos períodos de chuvas e pelo baixo aporte fluvial oriundo da drenagem dos rios. Conseqüentemente, a quantidade de água salgada que entra não é a mesma que sai, havendo acúmulo de sais dentro da zona estuarina.

Segundo a classificação adotada por ALFREDINI (2005), podemos classificar o Coreaú como um estuário bem misturado, não havendo mudanças significativas de salinidade de superfície e fundo ao longo do estuário. A figura 28 mostra a variação de salinidade entre superfície e fundo no estuário.

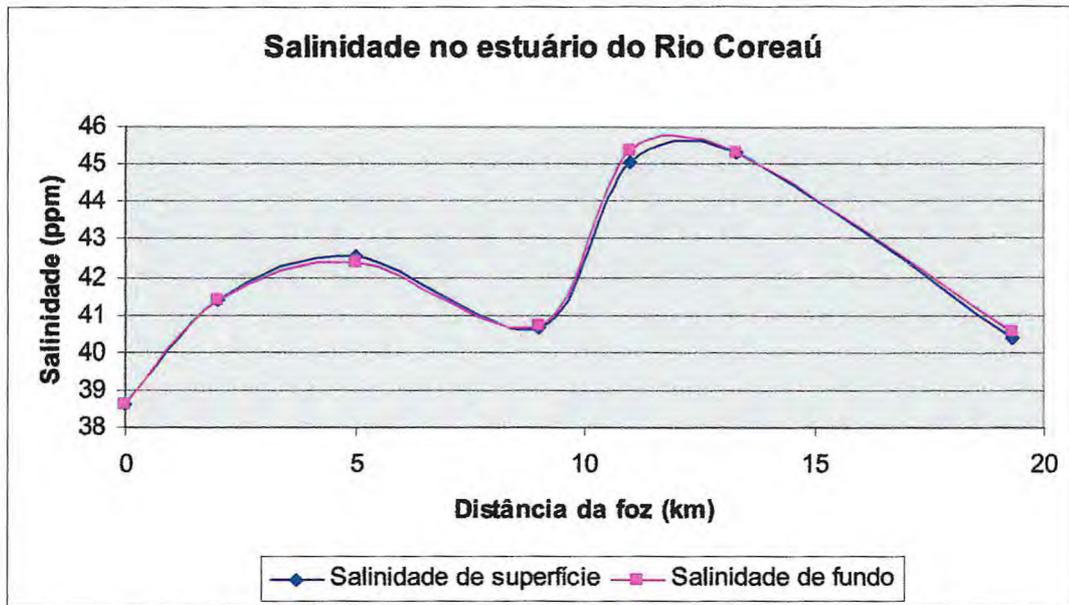


Figura 28 – Salinidade ao longo do estuário.

5.7.4. Condutividade elétrica e sólidos totais solúveis

Segundo ESTEVES (1998), pode ser definida como a capacidade de um corpo hídrico conduzir corrente elétrica, sendo função dos íons presentes, bem como do pH e da temperatura. Os sólidos totais solúveis correspondem a esses íons presentes nas águas e que podem ser observados também a partir da utilização do disco de Secchi.

Para o estuário do rio Coreaú, observou-se que à medida que adentramos o estuário a partir da desembocadura, ocorre um aumento gradativo nos níveis de condutividade e sólidos totais solúveis, com pico máximo para estes valores no ponto 2. Tal fato é apresentado em decorrência da deposição atmosférica, denudação do solo e intemperismo das rochas existentes na zona adjacente a calha estuarina da área, fator este comum em estuários localizados em zonas tropicais.

5.7.5. Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido constitui-se num dos mais importantes componentes na manutenção da dinâmica e equilíbrio de um ecossistema aquático. As

principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese (ESTEVES, 1998).

As medidas foram efetuadas dentro do intervalo de tempo onde ocorrem os maiores níveis fotossintéticos. Observou-se um valor médio de 4,9 mg/L com pico de 6,81 mg/L no ponto 6.

Não foram observadas diferenças significativas entre os valores de superfície e fundo. Possivelmente, isto se dá em decorrência da ausência de estratificação térmica ocasionada devido à ação do vento no estuário que promove uma substituição constante da água superficial pelas camadas de água inferiores, o que influencia fortemente a solubilidade do oxigênio na coluna d'água.

5.7.6. pH

Foram coletados valores referentes ao pH das águas do rio Coreáú em 7 pontos ao longo do estuário, considerando os valores de superfície e fundo. Observou-se um valor médio em torno de 8.8 com valor máximo de 9.08 na região da desembocadura do rio.

Os valores coletados encontram-se no intervalo entre 8.6 e 9.08 o que evidencia um caráter básico. Estes valores alcalinos mostram a forte influência das águas marinhas em todo o estuário, cedendo grandes contribuições de carbonatos e bicarbonatos para o Coreáú.

OBS: Os resultados físico-químicos das águas do Coreáú obtidos neste estudo se referem a uma campanha pontual para a época de estiagem, que constitui-se num período de baixos índices pluviométricos, conseqüentemente tem-se um insignificante aporte de água doce oriunda de drenagem do rio. Para um melhor conhecimento da dinâmica destes parâmetros no estuário é necessária uma caracterização mais ampla.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho possibilitou a caracterização ambiental do estuário do rio Coreaú, por intermédio de atividades de gabinete e campanhas, sendo possível obter as seguintes conclusões:

- O levantamento batimétrico da área navegável possibilitou a quantificação de alguns parâmetros morfométricos do estuário, bem como a avaliação da morfologia do relevo submerso. Estes resultados poderão viabilizar futuros estudos comparativos.
- Os resultados das amostras físico-químicas medidas no estuário sugerem que o mesmo ainda encontra-se em boas condições. Tal fato, é fortemente influenciado pela alta capacidade de renovação das águas desse estuário. Para cada ciclo de maré, temos uma renovação na ordem de 50% da água existente no Coreaú. Ou seja, em 1 dia ocorre praticamente toda a renovação da água do estuário.
- A análise da distribuição espacial de salinidade mostra que o estuário do rio Coreaú é fortemente influenciado pelas águas de origem marinha, havendo um comportamento crescente dos índices salinos a medida em que se adentra a região estuarina a partir da desembocadura.
- A técnica de sensoriamento remoto fez-se eficiente no desenvolvimento do mapa a partir do reconhecimento de feições naturais da planície flúvio marinha e empreendimentos aquícolas por intermédio das composições do satélite LANDSAT 7 ETM+.
- Devido a grande extensão do estuário do rio Coreaú, torna inviável a utilização dos dados de maré referentes ao porto de Luís Correa – PI para caracterizar o comportamento da variação de maré para o Coreaú como um todo, sendo necessária a

implantação de campanhas maregráficas ao longo do estuário, visando um melhor entendimento da hidrodinâmica do estuário.

- A caracterização possibilitou analisar a real situação de um dos maiores estuários do estado do Ceará.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDINI, P. **Obras e gestão de portos e costas**. 1ºed. São Paulo: Edgard Blunchen. 2005. 687 p.

CAMERON, W.M. & PRITCHARD, D.W. 1963. Estuaries. In: **The Sea** (ed. M.N.Hill), vol.2 John Willey & Sons, New York 306-324.

CAMPOS, A. A. & POLETTE, M. **Gestão Integrada da Zona Costeira**. In: Campos, A. A. *et al.* (coordenadores), **A Zona Costeira do Ceará: Diagnóstico para a Gestão Integrada**. Fortaleza: AQUASIS, p. 11-21. 2003.

CEARA GUIA FORTALEZA HOTEIS Pousadas Praias Hotel no Ceará Imóveis em Fortaleza. 2006. **Praias do sol poente** (www.ceara.com.br/m/camocim).

CÍNTRON, G. & SHAEFFER-NOVELLI, 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.

DEPARTAMENTO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. 2004. **Tábuas de Maré**. (www.dhn.mar.mil.br).

FURTADO NETO, M.F.; BATISTA, W.F.; COSTA, H.J.M.; CARREIRO, C.R.P. **Diagnóstico da fauna aquática do estuário do rio Coreauí**. Fortaleza: UFC/ACEG; AQUAFORT, SEMACE, 2005.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência. 1998. 602 p.

FARIAS, E.G.G de; MAIA, L.P.; Monteiro, L.H.U.; LEAL, J.R.L.V.; MARINHO, R.A. **Mapeamento batimétrico do estuário do rio Jaguaribe – CE**. Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca, Fortaleza – CE, 2005.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA. 2005. **Climatologia e Hidrologia para a bacia do Coreauí**. Em: (www.funceme.br).

GONZALEZ R.; WOODS, R. **Processamento de Imagens Digitais**. 1 ed. Rio de Janeiro. 2000. 264 p.

GUIMARÃES, M.R.F. & MARONE, E. **Oceanografia física com ênfase em ambientes estuarinos**. Apostila. 1996. 147 p. FURG. Santa Maria.

LEAL, J.R.L.V. **Zoneamento geoambiental da área de proteção ambiental de Canoa Quebrada – Aracati – Ceará.** 2003. 210 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará.

MONTEIRO, L. H. U. **Diagnóstico e caracterização geoambiental do estuário do rio Potengi – Natal – Rio Grande do Norte.** 2003. 51 p. Relatório de Graduação (Monografia). Universidade Federal do Ceará.

MONTEIRO, L.H.U. **Estudo das áreas de mangues entre os estados Piauí e Pernambuco com um enfoque para o estado do Ceará nos anos de 1978 e 1999/2004 utilizando sensoriamento remoto.** 2005. 98 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR, Universidade Federal do Ceará.

POOLE, H.H. & ATKINS, W.R.G. 1929 – **Photo – electric measurements of submarine illumination throughout the year.** *Mar Biol. Ass.* V.K. 16(16): 297-324e

SAINTILAN, N. & WILTON, K. 2001. **Changes in the distribution of mangroves and saltmarshes in Jervis Bay, Australia.** *Wetlands Ecology and Management.* Netherlands. 409 – 420 p.

SEMACE/LABOMAR(a). **Relatório de caracterização das condições físico-químicas dos estuários do estado do Ceará.** (Zoneamento Ecológico e Econômico do Litoral e Ecossistemas Associados do Estado do Ceará – ZEE, 2005). Coordenador Prof. Dr. Luís Parente Maia. Fortaleza – CE, 2005.

SEMACE/LABOMAR(b). **Relatório de estimativa de descarga fluvial para os principais estuários do estado do Ceará.** (Zoneamento Ecológico e Econômico do Litoral e Ecossistemas Associados do Estado do Ceará – ZEE, 2005). Coordenador Prof. Dr. Luís Parente Maia. Fortaleza – CE, 2005.

SHAEFFER-NOVELLI, Y. **Manguezal. Ecossistema entre a terra e o mar.** *Caribbean Ecological Research,* São Paulo, 64p. 1995.

SHAEFFER-NOVELLI, Y. 2003. **O Papel Ecológico e Sócio-econômico dos Manguezais.** In: Campos, A. A. *et al.* (coordenadores), *A Zona Costeira do Ceará: Diagnóstico para a Gestão Integrada.* Fortaleza: AQUASIS, p. 46-47. 2003.

SILVA, R.A. **Probabilidade de chuvas no estado do Ceará.** Dissertação (Mestrado em engenharia civil, Área de concentração: Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará – UFC, 1985). Boletim técnico de recursos hídricos/UFC. Fortaleza.

WILTON, K.M. 2002. **Coastal wetland habitat dynamics in selected New South Wales estuaries.** Unpublished Ph.D. Thesis. Coastal Wetlands Unit, School of Arts and Sciences, Australian Catholic University. 329 p. plus appendices.