



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**MARIA CECÍLIA DA SILVA COLARES**

**EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO CANAL ESTUARINO DO RIO COREAÚ,  
CEARÁ, BRASIL**

**FORTALEZA  
2015**

**MARIA CECÍLIA DA SILVA COLARES**

**EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO CANAL ESTUARINO DO RIO COREAÚ,  
CEARÁ, BRASIL**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.

Orientadora: Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro.

**FORTALEZA  
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Rui Simões de Menezes

---

C649e Colares, Maria Cecília da Silva.

Evolução geomorfológica do canal estuarino do Rio Coreaú, Ceará, Brasil / Maria Cecília da Silva Colares- 2015.

96 f.: il. color., enc.; 30 cm.

Tese (doutorado)– Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2015.

Área de Concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.  
Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Lidriana de S. Pinheiro.

1. Estuário - Rio Coreaú (CE), 2. Morfodinâmica. 3. Sistemas de Informações Geográficas (SIG). 4. Sedimentos. I. Título.

---

CDD 551.461 8

MARIA CECÍLIA DA SILVA COLARES

EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO CANAL ESTUARINO DO RIO COREAÚ,  
CEARÁ, BRASIL

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais do Labomar da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.

Aprovada em: 23/02/2015

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jader Onofre de Moraes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Maria Ozilea Bezerra Menezes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Andréa Almeida Cavalcante  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Manuel Rodrigues de Freitas Filho  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

À minha mãe, minha avó Cecília e à  
minha família.

À Marjorie Nepomuceno, em especial,  
pelo apoio incondicional a continuação da  
minha carreira acadêmica.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço às pessoas que contribuíram de alguma forma para que esta tese se materializasse e já peço desculpas se esqueci de citar alguém.

Ao projeto “Estudo oceanográfico dos manguezais brasileiros e a formação de recursos humanos qualificado”, Edital 086/2010-Ciências do Mar, coordenado pelo professor doutor Jáder Onofre de Moraes, pelo financiamento e todo apoio nas atividades de campo e laboratório. Sou grata ainda pela confiança em mim depositada durante a realização dessa tese.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado pelo projeto Transferência de Materiais Continente – Oceano – Edital Ciências do Mar coordenado pelo professor doutor Luis Drude de Lacerda.

À minha orientadora, profa. doutora Lidriana de Souza Pinheiro, pela confiança em mim depositada para a execução deste projeto e por acreditar na nossa vitória ao final do percurso.

À Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), pelo pronto atendimento e ajuda no que foi necessário com relação a cartas náuticas e informações sobre a área de estudo, sempre com muita atenção. Obrigada pela contribuição.

À minha mãe, Jô, pelo simples e incomensurável fato de ser minha mãe. Isso já diz tudo. Obrigada.

À minha “vozinha”, Cecília Fernandes, pelo apoio de todas as formas que ela conseguiu dar incondicionalmente.

Às minhas irmãs, Kelle e Janine, pela torcida, incentivo, conversas de tese e sobre a tese, desabafos, momentos de descontrações etc.

A todos os sobrinhos meus, que, mesmo sem entenderem direito o que é uma tese de doutorado, sempre respeitaram a minha falta de tempo para com eles e receberam o meu período disponível com muita felicidade.

Agradeço imensamente ao professor doutor Luis Américo Conti pelo apoio, ensinamentos e esclarecimentos ao longo deste trabalho, possibilitando sua concretização.

À professora e amiga doutora Maria Oziléa Bezerra Menezes, pelo apoio, compreensão, disponibilidade, incentivos de paciência, confiança e amizade durante esse trajeto difícil, e cheio de “obstáculos humanos”, também. Obrigada por tudo.

À professora doutora Kamila Vieira pelo apoio, amizade, incentivo e momentos de descontração durante o longo percurso de tese.

Aos membros da minha banca de qualificação: professora doutora. Andréia Cavalcante, professora doutora Oziléa Bezerra Menezes e professor doutor Davis Pereira de Paula.

A todos os professores de doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, com os quais eu tive aulas e orientações também.

A todos os colegas do Laboratório de Oceanografia Física (LOF) do LABOMAR, onde escrevi a maior parte da minha tese, obrigada pelas brincadeiras, descontrações, informações e amizade.

À professora doutora Sandra Santaella, grande amiga, pela paciência de me ouvir nos piores momentos e nos melhores também. Obrigada, minha grande amiga.

Ao meu querido amigo Mario Godoy, pelo companheirismo, dicas de geoprocessamento e pela nossa “amizade-gambá”.

A todos os meus “amigos-gambás”, com quem dividi a parte mais angustiante de uma tese (o finalzinho) e fui acolhida e compreendida por todos com muito amor.

À minha amiga, em especial, Glacianne Maia, por todas as dicas, orientações, força, incentivo e amizade.

A todos os que participaram da realização prática deste trabalho (e não foram poucos): a equipe de bordo, Diego Silva (oceanógrafo) e Paulo (tripulante do barco), que contribuiu diretamente para a coleta dos dados deste trabalho; Sr. Cacá, pelas cargas e recargas de baterias que foram vitais para o funcionamento de nossos equipamentos de campo, sempre disponível a qualquer hora do dia ou da noite; Neto, condutor e mestre da embarcação que utilizamos para coletar os dados, atento e conhecedor do percurso realizado, nos levou com segurança até o ponto final de coleta, com bom humor, atenção e experiência de navegação; ao comandante Ferreti, do Posto da Marinha de Camocim, que viabilizou nosso tráfego no rio Coreaú durante o trabalho; à Rádio de Camocim, que levou ao ar uma

entrevista informativa sobre o nosso trabalho no rio Coreaú, visando a tranquilizar os habitantes da região sobre nossa atuação no estuário até horas avançadas da noite; aos estagiários do Laboratório de Oceanografia Geológica do Labomar, que processaram inúmeras amostras de sedimento coletadas, Íthala, Sara, Carlos e Alcebíades; a Natália Castro, que não estagiou, mas, vendo a quantidade de amostras para processar, ofereceu ajuda voluntária. Obrigada gente!

À Cida, pela paciência, incentivo, amizade e disponibilidade de ajuda durante todos os processos de pós-campo.

Ao Bruno Catunda, que foi amigo e solidário na hora em que mais precisei.

À doutora Mônica Pimenta, pelo incentivo e amizade desde o mestrado.

Ao meu camarada de curso de doutorado e amigo, Samuel Valentim, por toda a ajuda, amizade, disponibilidade, resoluções de “perrengues” de campo e confiança durante esse percurso.

À minha linda amiga-grávida, Gabriela Padilha, pela amizade e palavras de coragem, desde o dia em que nos conhecemos.

Ao Gleidson Gastão, do LABDIC – Laboratório de Dinâmica Costeira do Labomar, pelos esclarecimentos e troca de ideias sobre os programas utilizados aqui e amizade.

Ao caríssimo “Berguinho”, o Lusibergue, porteiro do Labomar, que me recebeu todos os dias em que entrei no Instituto com um sorriso enorme, um “bom dia” sincero e encorajador; sem esquecer também todos os meninos da turma da limpeza, Wagner, Francisco, D. Célia, que tiveram sempre uma brincadeira para descontrair e me fazer sorrir, mesmo nos dias mais pesados.

A todos os amigos que ficaram desamparados nesse período, mas que continuaram torcendo para que eu terminasse a tese.

Finalmente, ao professor Jarbas Studart Gurgel (*in memoriam*) por me haver ensinado a fazer uma “batimetria artesanal”, sem equipamentos de Sistema de Posicionamento Global (GPS) e ecosonda, no meu primeiro ano na Universidade Federal do Ceará, despertando em mim a curiosidade científica para tal método.

O meu “muito obrigada”!

*“Todos esses que aí estão  
Atravancando meu caminho,  
Eles passarão...  
Eu passarinho!”*  
(Mário Quintana)

## RESUMO

Estudados em vários aspectos e em diversos campos da Ciência, os estuários são ambientes estratégicos e com elevada sensibilidade ambiental a atividades antropogênicas. O objetivo geral do estudo desenvolvido no estuário do rio Coreaú, localizado no litoral oeste do Ceará-Brasil, a 350 km da capital, Fortaleza, foi compreender e identificar mudanças geomorfológicas correlacionando-as às causas naturais e/ou antrópicas ao longo do tempo, originando informações úteis ao manejo e gestão ambiental. Para isto foram mapeados e quantificados os usos e coberturas do solo nos últimos 37 anos, as interferências nos processos de erosão e sedimentação que resultaram na modificação do canal e leito estuarino, as influências dos eventos climatológicos e oceanográficos na morfologia e sedimentação e identificação das repercussões dos processos antropogênicos na mobilidade dos canais. Os resultados foram obtidos pela integração de dados produzidos nos mapeamentos em SIG com imagens de satélites, batimetrias históricas e atualizadas em campo (realizados nos anos de 2012 e 2013) e análises sedimentológicas desde a desembocadura até as proximidades da primeira barragem. Foi observado que os setores com maior mobilidade de canais estão localizados na parte central e inferior do estuário. Apesar da intensidade das correntes de marés e migração do *spit*, a estrutura das rochas da Formação Camocim na desembocadura exerce controle no fluxo, anulando o processo de assoreamento neste setor. A sedimentação é controlada pela influência marinha, com a predominância de areias quartzosas de granulometria média. A sedimentação de silte e argila estão concentradas nos primeiros dez quilômetros desde a barragem, indicando o limite de influência máxima da contribuição fluvial. Os resultados deste trabalho são de elevada importância para o gerenciamento ambiental costeiro da cidade de Camocim e para a bacia estuarina do rio Coreaú, sendo necessária a elaboração de um plano de manejo para evitar a suspensão do fluxo do rio em decorrência da obstrução do canal por bancos arenosos, o que poderia afetar os fluxos ecológicos com respostas na economia e sustentabilidade locais.

**Palavra-chave:** Estuário. Morfodinâmica. SIG.

## ABSTRACT

Studied in different ways and in different fields of science, estuaries are strategic and high sensitivity anthropogenic activities environments. The overall objective of the study developed in the estuary of Coreaú river on the west coast of Ceará-Brazil, 350 km from the capital Fortaleza was to understand and identify geomorphological changes correlating the natural causes and/or anthropogenic over time generating useful information to environmental management. In order to do this were mapped and quantified the land use and land cover in the last 37 years, the interference in erosion and sedimentation resulting in the modification of the channel and estuarine bed, the influences of climatological and oceanographic events in morphology and sedimentation and identification of the impact of anthropogenic processes in mobility channels. The results were obtained by integrating data generated in GIS mapping with satellite images of the last 37 years, historical and updated bathymetry (data collection were made in 2012 and 2013) and sediment analysis in the field from the mouth to near the first dam built. We observed that sectors with higher channel mobility are located in the central and lower estuary. Despite the intensity of tidal currents and migration of the spit, the structure of Camocim's rocks formation at the mouth exercises control in the flow, wiping out the silting process in this sector. Sedimentation is controlled by marine influence, with the predominance of quartz sands of medium particle size. The sedimentation of silt and clay is concentrated in the first ten kilometers from the dam, indicating the limit of maximum influence of fluvial contribution. The results generated in this study are extremely important for coastal environmental management of the city of Camocim situated on the banks of Coreaú. The development of a management plan is needed to prevent the suspension of river flow due to channel obstruction by sandy banks for Coreaú's estuarine basin, which could affect the ecological flows with answers in the economy and local sustainability.

**Keywords:** Estuaries. Morphodynamics. GIS.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da área de estudo .....	22
Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica do Coreaú .....	23
Figura 3 – Desenho esquemático de estuários dominados por ondas e marés.....	30
Figura 4 – Zona Costeira do Nordeste .....	32
Figura 5 – Mapa geológico sintético da margem continental porção emersa adjacente do Estado do Ceará.....	34
Figura 6 – Diferentes tipos de satélites e seu alcance .....	39
Figura 7 – Grade de batimetria planejada para o rio Coreaú .....	44
Figura 8 – Equipamentos utilizados no campo para batimetria.....	46
Figura 9 – “Krigagem” ordinária da batimetria do Coreaú.....	47
Figura 10 – Malha amostral de sedimentologia do Coreaú.....	49
Figura 11 – Amostragem de sedimentos no Coreaú.....	50
Figura 12 – Equipamentos de laboratório para análise sedimentar .....	53
Figura 13 – Mapa feito pelo prático da costa norte do Brasil, Felipe Francisco Pereira, publicado em 1877 .....	54
Figura 14 – Barragem construída no rio Coreaú no ano de 1890 na cidade de Granja .....	55
Figura 15 – Navios ancorados no Porto de Camocim.....	57
Figura 16 – Mapa Batimétrico da Carta Nº 61 de 1945.....	58
Figura 17 – Mapas batimétricos do rio Coreaú .....	60
Figura 18 – Mapa de distribuição granulométrica do Coreaú: área 01 .....	66
Figura 19 – Mapa de distribuição granulométrica do Coreaú: área 02 .....	67
Figura 20 – Distribuição de carbonato de cálcio no Coreaú: área 01 .....	68
Figura 21 – Distribuição de carbonato de cálcio no Coreaú: área 02 .....	69
Figura 22 – Teor de matéria orgânica no Coreaú: área 01 .....	70
Figura 23 – Teor de matéria orgânica no Coreaú: área 02 .....	71
Figura 24 – Diagrama de Pejrup para o rio Coreaú .....	73
Figura 25 – Localização das áreas 1,2 e 3 .....	74
Figura 26 – Hidrodinâmica do rio Coreaú segundo o diagrama de Pejrup para as áreas 1 e 2 respectivamente.....	75
Figura 27 – Cartogramas de uso e cobertura do Coreaú: área 01 e 02.....	77
Figura 28 – Cartograma de uso e cobertura do Coreaú: área 03 .....	80

Figura 29 – Enchente do Coreaú em 2009 .....	84
--	----

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Amplitude de maré em (m) para aquisição de imagens.....	40
Gráfico 2 – Precipitação anual para o Rio Coreau (1974-2013).....	43
Gráfico 3 – Gráficos dos perfis batimétricos da área 01 de 2012.....	63
Gráfico 4 – Perfis Batimétricos da Carta N°61 de 1945.....	64
Gráfico 5 – Precipitação de 1974 a 2013 (Quadra chuvosa).....	84
Gráfico 6 – <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i> abrangendo a quadra chuvosa do NE de 1974 a 2012.....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Satélites com respectivos anos utilizados, bandas e resolução .....	42
Tabela 2 – Evolução de feições expostas do Coreau (Km <sup>2</sup> ) .....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANASED	Programa de Análise de Sedimentos
AP	Antes do Presente
APA	Área de Proteção Ambiental
ASCII	Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação
ATSM	Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar
DATUM	Sistema de referência para coordenadas geodésicas
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LGCO	Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica
LGMA	Laboratório de Geologia Marinha
LOG	Laboratório de Oceanografia Geológica
NE-SE	Nordeste-Sudeste
NMEA	<i>National Marine Electronics Association</i> (Especificação eletrônica combinada para dados marín)
QUICKBIRD	Satélite comercial de observação de alta resolução (0,60m)
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
WORLDVIEW	Satélite comercial de observação de alta resolução (0,50m)

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	17
1.1	Objetivo geral .....	20
1.2	Objetivos específicos .....	20
2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	22
2.1	Contexto histórico do rio Coreaú .....	24
2.2	Contexto geoambiental do estuário .....	25
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	28
3.1	Estuários: definição e classificação.....	28
3.2	Zona costeira e ambientes de sedimentação: Nordeste do Brasil .....	31
3.3	Principais estuários do Ceará: uma análise morfológica simplificada ....	33
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1	Levantamento bibliográfico, cartográfico e de dados institucionais .....	38
4.2	Sensoriamento remoto e SIG .....	38
4.3	Classificação de imagens para histórico geomorfológico .....	39
4.3.1	<i>Imagens LANDSAT, QUICKBIRD e WORLDVIEW - II: processamento e correções.....</i>	<i>40</i>
4.3.2	<i>Uso e cobertura: análise.....</i>	<i>43</i>
4.4	Batimetria do rio Coreaú, Camocim-CE-Brasil .....	43
4.4.1	<i>Planejamento de campo .....</i>	<i>43</i>
4.4.2	<i>Batimetria: análise geoestatística.....</i>	<i>46</i>
4.5	Sedimentologia do rio Coreaú .....	48
4.5.1	<i>Coleta de amostras .....</i>	<i>48</i>
4.5.2	<i>Análise granulométrica.....</i>	<i>50</i>
4.5.3	<i>Carbonato de cálcio.....</i>	<i>52</i>
4.5.4	<i>Matéria orgânica.....</i>	<i>52</i>
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
5.1	Caracterização geomorfológica do estuário do rio Coreaú.....	54
5.1.1	<i>Morfologia.....</i>	<i>54</i>
5.1.2	<i>Sedimentologia.....</i>	<i>65</i>
5.2	Mecanismos de transporte de sedimentos.....	72
5.3	Evolução do uso e cobertura da terra .....	76
5.3.1	<i>Análise do uso e cobertura por ano mapeado.....</i>	<i>82</i>

<b>5.4</b>	<b>Clima .....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>87</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXO A – DECLARAÇÃO DE REVISÃO GRAMATICAL .....</b>	<b>96</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A diversidade de ambientes no litoral brasileiro exemplifica a riqueza natural expressada geologicamente por suas feições costeiras distribuídas ao longo da costa. Os estuários são berçários naturais de várias espécies, ambientes de troca de águas, variabilidade de salinidades e densidades, um verdadeiro desafio para estudos hidrodinâmicos, sedimentares e geomorfológicos.

A região costeira do Brasil possui ampla distribuição de estuários, contabilizando 27 com áreas acima de 100 km<sup>2</sup> (LESSA, 2005).

O Ceará tem, em sua paisagem litorânea, 17 estuários, contabilizados por Farias (2006). Dentre esses, existem dois grandes rios situados em extremidades geográficas que formam grandes estuários: o Jaguaribe, no litoral leste, com uma bacia hidrográfica de aproximadamente 75.000 km<sup>2</sup> (GODOY, 2014), a maior do Estado do Ceará; e, no litoral oeste, a bacia hidrográfica do rio Coreaú com aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup> (FARIAS, 2006). Ambos serviram de vias de acesso para a colonização do Ceará e exploração dos recursos naturais que aqui havia nessa época. Possuem em suas margens municípios razoavelmente grandes, com uma população, estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de aproximadamente 14.000 habitantes nas margens do Jaguaribe, na Cidade de Fortim e de mais de 60.000 habitantes nas margens do Coreaú, no Município de Camocim, exercendo uma pressão antrópica significativa nesses ambientes.

Estuários são geralmente áreas de atividade humana significativa em que as alterações morfológicas podem ter impactos severos sobre o ambiente, tanto em curto prazo, mediante uma mudança abrupta na velocidade de redistribuição de sedimentos, como em médio prazo, como a mobilidade, estrangulamento de canais e formação de ilhas (ROBINS; DAVIES, 2010).

Didaticamente, todos os estuários possuem estrutura que se divide em três partes: uma porção marinha que domina seu exterior, onde o transporte de sedimento de fundo é regressivo; uma zona central de baixa energia relativa na qual há convergência de sedimento de fundo; e uma zona no interior, em que o rio é dominante (mas com influência marinha), onde o transporte líquido ocorre em

direção ao mar (MIRANDA *et al.*, 2002). Essas três zonas não são igualmente desenvolvidas em todos os estuários porque existem fatores como disponibilidade de sedimentos, gradiente da zona costeira e do estágio de evolução do estuário que determinam essa divisão (DALRYMPLE *et al.*, 1992).

A formação de fácies e disposição destas dentro de um estuário estão relacionadas diretamente com a interação de processos marinhos, como ondas, marés, ventos e correntes de fundo, que proporcionam o transporte de sedimentos, fazendo com que seu acúmulo forme barreiras ou pontais arenosos com orientações definidas por sua direção, força e velocidade (DAVIES, 1964).

A definição clássica de estuário na literatura científica é de Pritchard, (1963) que o definiu, em termos de Oceanografia física, como um corpo de água semifechado, que tem uma conexão livre com o mar aberto, onde essa água proveniente do oceano se mistura com a de aporte fluvial, sendo diluída por essa.

Nessa dinâmica, os gradientes de salinidade de um estuário estão divididos em: zona estuarina fluvial, região mais interna do estuário intensamente relacionada com o aporte fluvial com salinidade menor do que 1‰; zona estuarina média, que expressa salinidades variando de 1‰ a 35‰, onde ocorre a intensa mistura entre as águas salgadas e doces; e zona estuarina costeira ou desembocadura na qual a forçante marinha (marés, ondas e correntes) é predominante (MIRANDA *et al.*, 2002).

No caso, os rios da região semiárida do Nordeste brasileiro, onde está inserida a área estudada, são intermitentes, fluindo somente durante a estação chuvosa (PINHEIRO; MORAIS, 2010). A penetração da água do mar nos vales durante as marés altas impede que esses rios fiquem sem a comunicação com o oceano durante a estiagem.

No que diz respeito às Ciências Geológicas, o conceito proposto por Dalrymple *et al.* (1992) considera que estuário é o limite mais a jusante de um vale afogado que recebe sedimentos fluviais e marinhos e que contém fácies sedimentares influenciadas pela maré, pelas ondas e processos fluviais compreendendo toda a extensão do vale afogado que se estende do limite a

montante das fácies de maré até o limite a jusante das fácies costeiras perto da embocadura.

A morfologia dos estuários pode ser modificada por fatores naturais como erosão, aporte de sedimento e deposição, advindos de influências climáticas ou por fatores antrópicos como: construção de barragens ao longo do curso dos rios, desmatamentos, dragagens, obras portuárias e outros tipos de lançamentos que determinam o acúmulo ou retirada de sedimentos, mudando assim sua forma e muitas vezes até o curso do rio por completo (DOMINGUEZ, 2009).

As condições climáticas nas regiões tropicais semiáridas são mais severas, com reduzidos volumes de precipitação, alta taxas de evaporação, e a velocidade dos ventos é mais intensa, fatores estes que repercutem na produção, transporte e disponibilidade de sedimentos, fazendo com que o domínio das formações arenosas, sob a forma de dunas e barreiras arenosas, contribua significativamente para a obstrução das desembocaduras e canais estuarinos (MORAIS *et al.*, 2002; PINHEIRO; MORAIS, 2010).

Os processos e impactos anteriormente discutidos podem ser observados no estuário do rio Coreaú, localizado na porção centro-norte do Ceará, abrangendo os Municípios de Camocim e Granja, com área de aproximadamente 4.620 ha. O rio Coreaú tem nascentes no sopé do Planalto da Ibiapaba, com área estimada de 4.445 Km<sup>2</sup>. O manguezal de Camocim, banhado pelo rio Coreaú, corresponde a 20,14% dos manguezais do Ceará (MAIA *et al.*, 2006).

A motivação para estudar essa temática é justificada pela escassez de ensaios sobre a evolução geomorfológica de ambientes estuarinos sob influência da semiaridez; o controle da morfologia nas atividades econômicas, a exemplo da navegação e atividades portuárias; e a pressão dessas atividades nas áreas colonizadas por manguezais. O conhecimento destes processos é importante nos planos de ordenamento territorial e urbano, principalmente no Estado do Ceará, onde a procura por espaços às margens estuarinas para a construção de empreendimentos aquícolas e agroindustriais é cada vez maior.

Na tentativa de entender e caracterizar a evolução geomorfológica desses ambientes, foram elaboradas as seguintes perguntas:

- a) Com base na suposição de que em condições naturais no Estado do Ceará, a vazão fluvial é observada em apenas três meses do ano, qual seria o nível de sua interferência na morfodinâmica de estuários com influência da semiaridez?
- b) as grandes alterações, no tempo e no espaço, da forma, hidrologia e processos de sedimentação nos estuários seriam de fato provocadas pelas formas de uso da terra nos últimos 37 anos?

Com suporte nesses questionamentos, foram lançadas as hipóteses, à frente.

- a) as alterações geomorfológicas ao longo do rio Coreaú são controladas pelas formas de uso e cobertura das margens estuarinas, provocando elevada mobilidade dos canais e a formação de bancos arenosos;
- b) os eventos de alta energia, a exemplo das fortes precipitações ou falta delas, são as principais responsáveis pelas transformações na morfologia estuarina;
- c) a sedimentação marinha é atualmente o principal mecanismo de preenchimento do estuário do rio Coreaú.

### **1.1 Objetivo geral**

Compreender e identificar mudanças geomorfológicas no estuário do rio Coreaú, correlacionando essas a causas naturais e/ou antrópicas ao longo do tempo propiciando informações úteis ao manejo e gestão ambiental.

### **1.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar a morfologia e os padrões de sedimentação estuarina longitudinal e o regime hidrodinâmico que os controla;
2. Mapear e analisar as alterações na cobertura da terra, nos últimos 37 anos, para avaliar sua interferência nos processos de erosão e sedimentação;

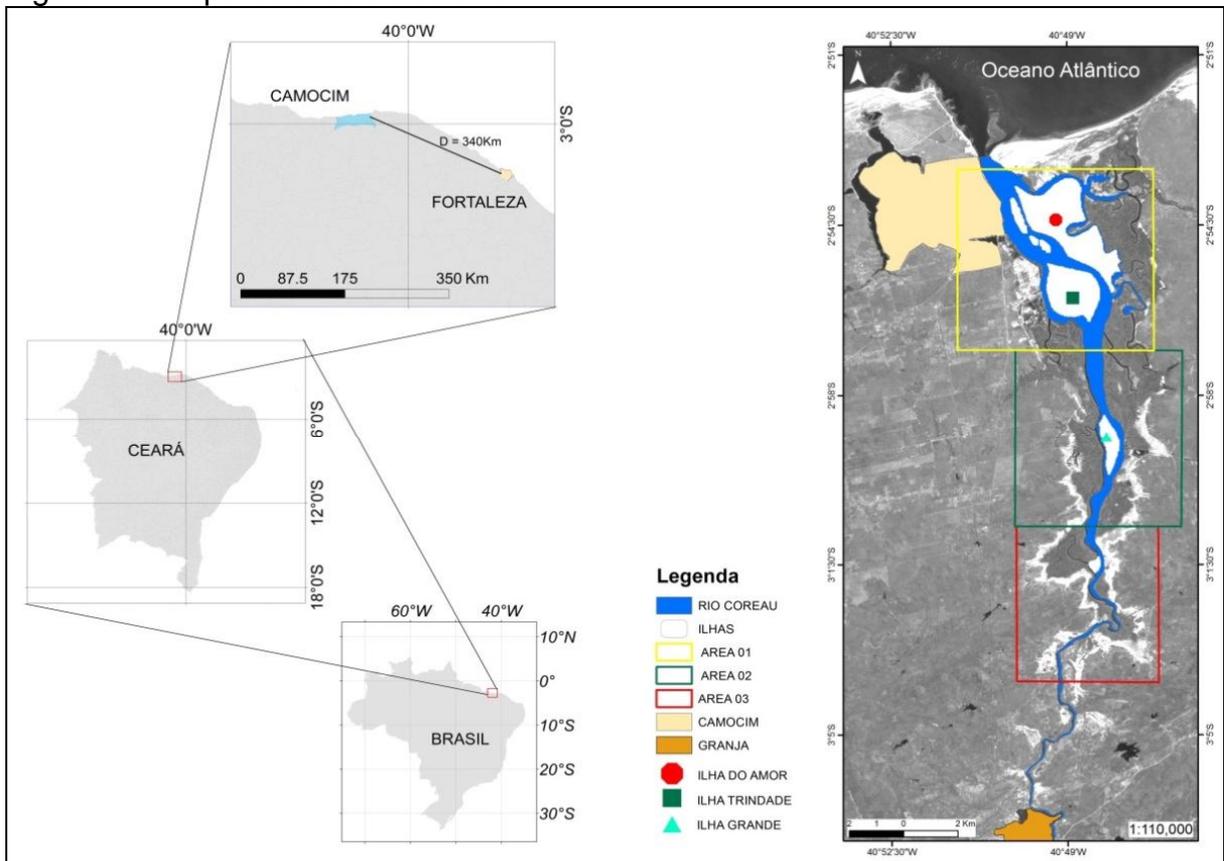
3. Discutir as repercussões dos processos naturais e antropogênicos na geomorfologia do canal.

## 2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi delimitada no rio Coreaú, nos limites da sua foz, das coordenadas 2° 53' S a 40° 51' W, seguindo a montante até as coordenadas 3° 06' S e 40° 49' W, até onde o rio apresentou profundidade de 0,50m, insuficiente para navegação do barco de pequeno porte utilizado na pesquisa, resultando numa área total de 15,35Km<sup>2</sup> de lâmina d'água e 24km de navegação rio acima (FIGURA 1).

A bacia do Coreaú situa-se na porção noroeste do Estado do Ceará, limitada ao sul e oeste pelo Estado do Piauí, o sudoeste pela bacia do Poti-Longá, o leste pela bacia do Acaraú, e ao norte, pelo oceano Atlântico. Localizando-se das coordenadas geográficas 41° 26' a 40° 12' de longitude oeste e 2° 47' a 3° 56' de latitude sul, ocupa uma área de 10.633,67 km<sup>2</sup>, abrangendo integralmente a área de dez municípios e, parcialmente, a de outros 14 municípios (PLANERH, 2005 apud COGERH 2009), (FIGURA 2).

Figura 1 – Mapa da área de estudo



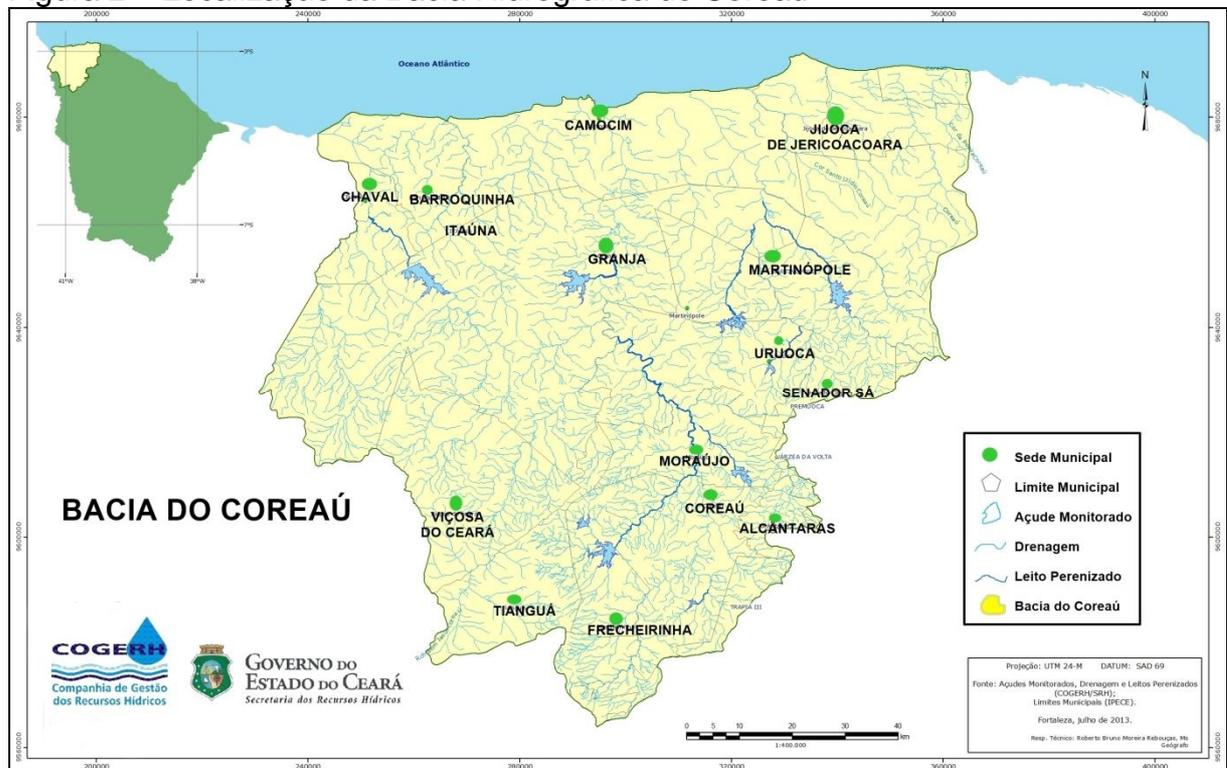
Fonte: A autora.

A área estudada foi dividida em três compartimentos: área 01, área 02 e área 03, espacializadas na imagem e determinadas pela localização das Ilhas dentro do estuário, para uma melhor identificação em mapas temáticos confeccionados com suporte nos dados obtidos durante o trabalho.

No litoral extremo Oeste estão situados os Municípios de Acaraú, Amontada, Barroquinha, Camocim, Chaval, Cruz, Granja, Itarema e Jijoca de Jericoacoara, em contato direto com o ambiente marinho, exceto Granja e Cruz.

A Região Hidrográfica do Coreaú é composta por bacias (COGERH, 2009). Tem como principal coletor de drenagem o rio Coreaú, que se desenvolve no sentido preferencial sul/norte. Outros cursos d'água, de menores dimensões, se dispõem paralelamente ao Coreaú. Em sua maioria, as bacias são de pequeno porte e pouca representatividade hidrológica, à exceção das bacias do rio Coreaú, rio Timonha, rio Pesqueiro e rio Itacolemi.

Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica do Coreaú



Fonte: COGERH (2009). Modificada pela autora.

## 2.1 Contexto histórico do rio Coreaú

O topônimo Coreaú, originalmente gravado como *Curuayú*, de curiá (pequena ave aquática) + *iú* (do verbo beber), significa, etimologicamente, bebedouro dos curiás. Também teve outros nomes, como “rio da onça”, assim escreve o historiador Leonardo Pildas, falando do rio em sua nascente, na fazenda Poço Verde, serra da Ibiapaba. O rio Coreaú serviu de acesso para escambos (troca de mercadorias) entre franceses, holandeses e índios desde o século XVII (PILDAS, 2003).

Camocim é uma região explorada desde a época em que a Companhia das Índias resolveu enviar seus navios com exploradores de riquezas naturais para a América do Sul, mais especificamente, o Brasil (PILDAS, 2003).

Por volta de 1600, a exploração de sal em salinas situadas no Brasil, mais especificamente no Ceará, foi incentivada e teve como mercado países como Holanda, Portugal e França (PILDAS, 2003).

No início de 1604, reuniram-se várias tropas da expedição na foz do rio Jaguaribe, de onde marcharam juntas em direção ao Maranhão. Entre os 65 soldados, que acompanhavam Pero Coelho, encontrava-se Martim Soares Moreno, ainda muito jovem, que mais tarde desempenharia um papel importante. Além disso, participavam da expedição várias centenas de índios tabajaras e potiguaras. Esses últimos é que deram a um rio, onde se detiveram para descanso, o nome de Siara. As tropas ocuparam as localidades anseadas do âmbar (Parazinho), mata dos paus de cores (Jericoacoara) bem como o rio da cruz (Camocim), até que a caminho da Serra da Ibiapaba encontraram resistência dos índios que se tinham aliado aos franceses. (BECK, 1649 apud KROMMEN, 1997, p. 56).

Já no início do século XIX, a evidente importância do comércio de sal e charque fez com que Camocim entrasse no circuito de embarque desses produtos pelo porto ainda sustentado por trapiches.

No século XIX, o porto de Camocim já funcionava a base de trapiches. Com a intensificação do comércio de algodão, charque, carnaúba e sal na região, no entanto, e com a chegada da ferrovia, a distância de Sobral a Camocim ficou menor e o escoamento da produção de Sobral para exportação ia para o porto de Camocim (KROMMEN, 1997). Os navios que entravam no porto natural de Camocim

continuavam ancorando em trapiches até a metade do século XX, quando foi construído o cais do porto.

O porto de Camocim perdeu importância econômica antes da construção do porto do Mucuripe, em Fortaleza, que iniciou suas obras em 1939, tendo a atracação do primeiro navio, o Vapor Bahia, em 1953 (PAULA, 2012). Existem poucos registros do calado dos grandes navios que entraram no porto de Camocim, visto que alguns ali entraram em meados de 1930.

Atualmente as atividades desenvolvidas no antigo porto de Camocim, hoje identificado como terminal pesqueiro de Camocim, limita-se à recepção de pescado e ancoragem de barcos de pesca. A pesca industrial sustentou os empregos e a renda local, levando a cidade ao crescimento da produção e exportação de pescados e crustáceos – apesar da expressão da pesca artesanal. Outros setores que ao longo dos anos contribuíram para assegurar a economia de Camocim foi o comércio e o turismo de sol e mar (SOUZA, 2008).

A expressão turística de Camocim incentivada por órgãos públicos constitui evolução econômica para o Município. Outras atividades, como a carcinicultura as margens do rio Coreaú, também contribuíram para seu desenvolvimento econômico. Seu posicionamento geográfico favoreceu também atividades imobiliárias com um crescimento significativo economicamente nos últimos anos.

## **2.2 Contexto geoambiental do estuário**

O vale do estuário do rio Coreaú está encaixado em um relevo tabular com depósitos pliocênicos da formação Barreiras e com fraca dissecação entre os interflúvios (SOUZA, 1981). Relações de interdependência com unidades morfológicas caracterizadas por planícies de marés, apicuns, salgados, vários bancos de areia e lamosos e ainda rochas na margem esquerda, terraços marinhos holocênicos, antigas plataformas de abrasão marinha, flechas de areia na desembocadura e sistema de meandros internos, compõem a morfologia do estuário do rio Coreaú (MEIRELES; SILVA, 2002).

Seu limite fluviomarinho interior é marcado por terraços fluviais e vegetação característica de mata de tabuleiro, com a quantidade marcante de carnaubais. A margem direita está associada a um grande campo de dunas móveis que migra de nordeste para sudoeste.

Rodrigues (2014) determinou um aumento de 7,17Km<sup>2</sup> da área de manguezal do rio Coreaú entre os anos de 1985 e 2013 apesar do clima semiárido, regime pluviométrico moderado e baixa taxa de vazão, associando também uma perda de área desse mangue de 7% num período de 28 anos por via da carcinicultura instalada nas margens do Rio.

Farrapeira (2013), estudando o baixo vale do rio Coreaú, chegou à conclusão de que o panorama geomorfológico da área estudada é de um ambiente consideravelmente retrabalhado perante relevos originados por forças tanto continentais quanto marinhas, denotando locais tipicamente sedimentares sob terrenos do embasamento cristalino. E, ainda, que o vale do rio Coreaú tem características de vale encaixado atribuídas pela localização do leito do rio em meio ao depósito correlativo da formação Barreiras.

O clima é do tipo tropical quente semiárido e os índices pluviométricos exibem pequena variação entre o alto, médio e baixo curso com precipitações médias anuais na cidade de Camocim em torno de 1.032 mm e temperaturas médias anuais próximas de 24,75°C (CEARÁ, 2009).

Ao longo do ano, ocorrem dois climas de ondas principais, ou seja, um formado pelas ondas geradas no Atlântico Norte (*swell*), com direção de 15° a 70°, e, o outro, formado por ondas geradas próximas à costa (*sea*), com direção de 70° a 120° (MAIA, 1998). Entre dezembro e abril a incidência do clima de ondas gerada no Atlântico Norte (*swell*) é mais intensa, decaindo sua intensidade nos meses seguintes.

A morfologia da linha de costana porção do extremo oeste, desde Acaraú, tem direção leste-oeste. O vento assume uma componente mais terral e o fluxo da água também tem uma tendência de se afastar da costa, sobretudo na zona *offshore*, onde a profundidade tem menos influência sobre o fluxo (BENSI, 2006). As

marés são semidiurnas, com amplitude nas de sizígia de 3,1 m (MORAIS *et al.*, 2006).

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Estuários: definição e classificação

Em mais de 9.000 km de litoral, o Brasil possui muitos ambientes classificados como estuários, onde também está situada quase a totalidade dos portos. Em virtude de sua condição abrigada, o ambiente estuarino proporcionou ao longo dos anos o desenvolvimento de cidades inteiras ao seu redor, pois não só desembocam no mar abrindo vias de acesso à navegação marítima e fluvial, como também é economicamente produtivo em termos alimentares em todos os níveis da cadeia trófica (SILVA, 1973).

Oestuário é um sistema cuja classificação depende de uma análise de seus atributos e, sobretudo, do contexto em que se insere. Dyer (1977); Miranda *et al.* (2002) definem estuário como uma região do interior de um ambiente costeiro onde ocorre o encontro das águas fluviais com a do mar, transportada pelas correntes de maré, estendendo-se rio acima até o limite da influência da maré.

Pritchard (1955) escreveu a clássica definição: “Estuário é um corpo de água costeiro semifechado, com uma livre ligação ao oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuralmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”.

Dalrymple *et al.* (1992) subdividiram os estuários em dois tipos - dominados por ondas e dominados por marés. Os dois tipos denotam fontes de sedimentos marinhos e fluviais, ocorrendo unicamente por progradação em costas recortadas.

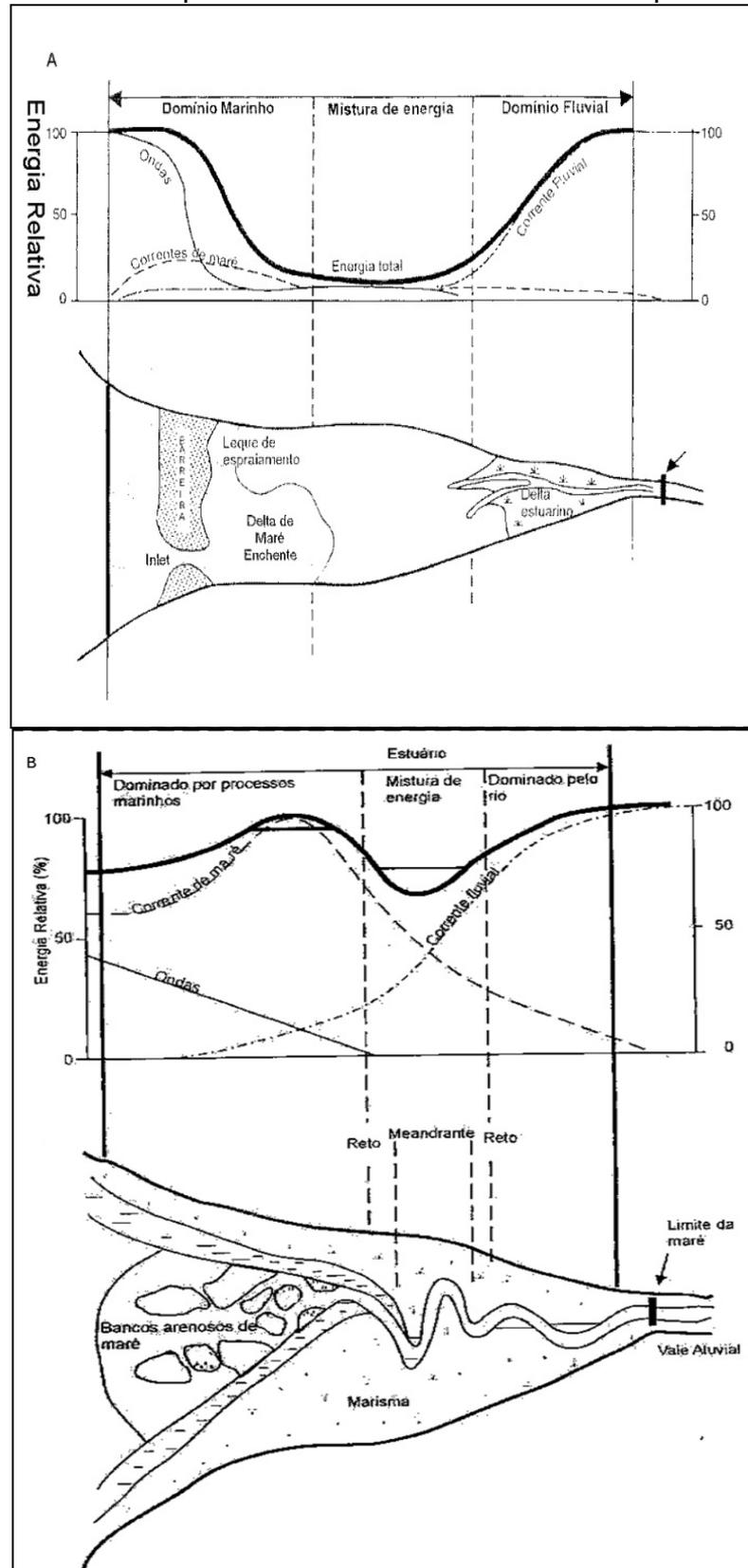
Perillo (1996) descreveu estuários como ambientes de transição entre os ambientes fluviais e marinhos, onde um ou mais rios encontram o mar, e as forças desses ambientes atuam controlando a dinâmica e a distribuição de propriedades químicas, biológicas e sedimentares. Quanto à classificação, o estuário pode ser analisado sob o aspecto geomorfológico, Pritchard (1952), sob os pontos de vista da estratificação salina, Stommel (1953), Pritchard (1955), Wright

(1970) e pelos regimes de circulação e descargas fluviais, Ippen e Halerman (1961), Moller (1996) e Rocha (2013).

No contexto dessas classificações já citadas existem as categorizações secundárias do tipo: estuários dominados por ondas, marés ou rios influenciando no seu comportamento sedimentar de acordo com cada fator dominante; divisão em zonas de acordo com a interação do prisma de maré e a descarga fluvial; e outros (BAPTISTA NETO *et al.*, 2004).

A penetração da maré num estuário resulta da interação do escoamento fluvial com o movimento oscilatório gerado pela maré na sua embocadura, cujas ondas longas são geralmente amortecidas e progressivamente distorcidas pelas forças do atrito no fundo, nas barras arenosas e a vazão fluvial é influenciada também pela geometria do canal (GODIN, 1999), (FIGURA 3).

Figura 3 – Desenho esquemático de estuários dominados por ondas e marés



Fonte: Baptista Neto (2004).

Nota: A. Distribuição dos processos dinâmicos e componentes morfológicos ao longo de um estuário dominado por ondas. B. Distribuição dos processos dinâmicos e componentes morfológicos ao longo de um estuário dominado por marés. (Adaptada e modificada de Dalrymple et al., 1992).

Por sua vez, ondas fazem parte de processos litorâneos de transporte de sedimentos provocados pela origem de uma corrente litorânea gerada por elas. Estuários dominados por ondas têm alterações morfológicas, onde ocorrem cordões e pontais arenosos que se antepõem perpendicularmente à desembocadura (BAPTISTA NETO, 2004). E outros fatores naturais ou interação destes, como transporte de sedimentos litorâneos por ação de fluxo e refluxo de ondas (*swash* e *backwash*), a própria corrente de deriva litorânea, também induzida por ondas e ação dos ventos, fazem com que a dinâmica de remoção ou acrescimento de sedimentos em estuários contribua para a alteração de sua forma, ou seja, na sua morfologia.

Já os fatores antrópicos que interagem nesse conceito morfológico originam-se do uso e ocupação desordenada desses ambientes.

Estes ambientes também denotam importância econômica significativa na crescente expansão populacional das cidades litorâneas, pois são utilizados como vias de acesso para o interior do continente, para as atividades portuárias, instalação de indústria pesqueira, extração de areia, dentre outros. A ocupação desordenada, a utilização do estuário como corpo receptor de efluentes naturais, industriais e de substâncias patogênicas e a falta de gerenciamento submetem a risco o desenvolvimento sustentável desses ambientes (MORAES, 2007).

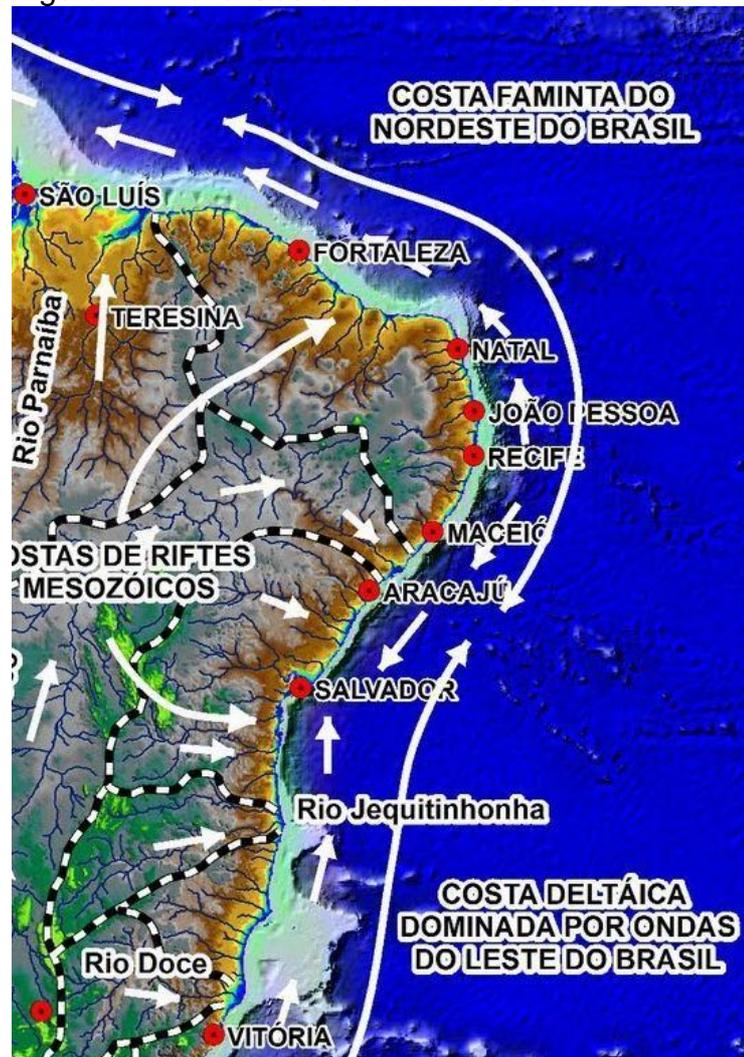
### **3.2 Zona costeira e ambientes de sedimentação: Nordeste do Brasil**

As zonas costeiras, em decorrência da localização geográfica na interface continente oceano, constituem-se em regiões sujeitas a contínuas alterações morfodinâmicas. Estas alterações possuem grande variabilidade temporal e espacial em função de processos continentais e marinhos que engloba entre outros, a dinâmica erosiva e deposicional, associada à ação de ondas, marés, correntes costeiras e também ação fluvial (SILVA *et al.*, 2004).

A Zona Costeira do Nordeste está situada das coordenadas 2° 30.443'S a 44° 26.320'O, onde se localiza a baía de São Marcos no Estado do Maranhão até a baía de Todos os Santos no Estado da Bahia, das coordenadas 12° 50.503'S a 38° 37.788'O. Em razão da ausência de grandes bacias hidrográficas, do baixo relevo e

do clima semiárido, a porção nordeste da costa brasileira foi considerada como do tipo “faminta” por sedimentos (DOMINGUEZ, 2009), (FIGURA 4). Esse tipo de costa apresenta tendência, a longo prazo, de recuo da linha de costa e diversas ocorrências de arenitos de praia e falésias inseridas na formação Barreiras. Há também a ocorrência de estuários não preenchidos e recifes de coral, em decorrência do baixo aporte de sedimentos e disponibilidade de substrato rochoso para fixação dos mesmos (DOMINGUEZ, 2009).

Figura 4 – Zona Costeira do Nordeste



Fonte: Dominguez (2009).

Cerca de 40% da população mundial vive perto de zonas costeiras ou na própria. No Nordeste, esse número aumenta em consequência das condições especiais da costa e da localização privilegiada de capitais extremamente populosas, podendo chegar a mais de oito milhões de habitantes (IBGE, 2010). O litoral do Nordeste foi dividido em dois macrocompartimentos: a costa semiárida, ao

noroeste do cabo do Calcanhar, e a costa oriental ou costa dos tabuleiros, do cabo do Calcanhar até a baía de Todos os Santos (SILVEIRA, 1964 apud MUEHE, 2006).

O Estado do Ceará, segundo a classificação de Silva (1973 apud MORAIS, 2006), tem uma parte inserida na costa semiárida norte com direção W-E. Desde foz do rio Acaraú, a linha de costa denota direção predominante Nordeste-Sudeste (NE-SE). Desse modo, existem feições costeiras bem comuns aos outros estados do Nordeste, como: planície litorânea com de dunas fixas e móveis, desembocaduras fluviais em planíciesfluviomarinhas com presença de mangues; lagunas costeiras; pontas rochosas ou falésias; *beachrocks* e Tabuleiros Costeiros.

No Estado do Ceará, as planícies flúviomarinhas com maior expressão geográfica em relação a área com manguezais estão localizadas no rio Timonha, rio Coreau e rio Acaraú (MORAIS *et al.*, 2006).

Os Tabuleiros Pré-Litorâneos são constituídos predominantemente por sedimentos terciócuaternários da formação Barreiras. Aparecem recortados por um grande número de drenagens secundárias, de regime intermitente, que constituem as microbacias hidrográficas da zona costeira do Estado (MORAIS, 2006 ).

Com uma linha de costa bem desenhada por feições geradas após muitas sucessões climáticas e remodeladas durante o Holoceno, o Ceará desenvolveu características geomorfológicas marcantes, que continuam em movimento sedimentar, seja ele de erosão ou progradação (SOUZA, 2000).

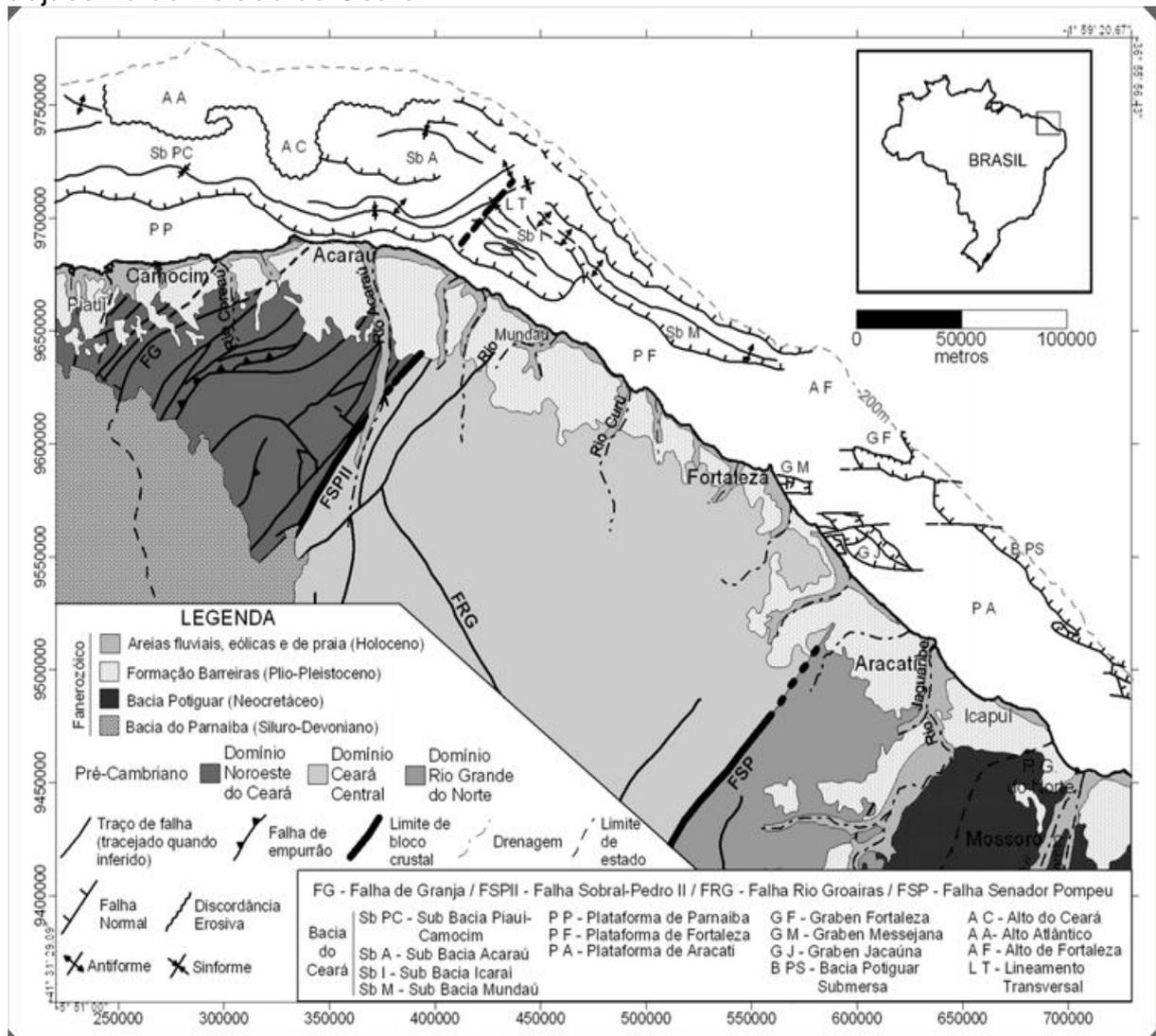
### **3.3 Principais estuários do Ceará: análise morfológica simplificada**

A maioria dos rios da região semiárida do Nordeste é intermitente, fluindo somente durante a estação chuvosa. Como se adiantou a penetração da água do mar nos vales dos rios, durante as marés cheias, impede que esses rios fiquem sem a comunicação com o oceano durante a estiagem (PINHEIRO; MORAIS, 2010). Nesta estação, a drenagem se reduz ao máximo e, conseqüentemente, não há uma graduação na diluição da água do mar pela água do rio, o que formaria um gradiente de densidade. Este fato foi verificado por Dias (2005), Paula (2005), Pinheiro (2003)

e Soares-Filho e Alcantara-Filho (2002) nos estuários dos rios Pacoti, Jaguaribe, Malcozinhado e Timonha.

Numa visão geotectônica, o Estado do Ceará abrange três blocos crustais maiores, colados durante a Orogenia Brasileira/Pan-Africana, de 640 a 580 Ma: Domínio Noroeste do Ceará, Domínio Ceará Central e Domínio Rio Grande do Norte (FETTER *et al.*, 2000; SILVA FILHO *et al.*, 2006 apud JARDIM DE SÁ, 1994) (FIGURA 5). Tais domínios são separados entre si por descontinuidades crustais de grande porte. Também se destacam outras feições, como as zonas de cisalhamento de Granja (Noroeste do Ceará), Tauá (Ceará central) e Jaguaribe (Rio Grande do Norte).

Figura 5 – Mapa geológico sintético da margem continental porção emersa adjacente do Estado do Ceará



Fonte: Adaptada de Schobbenhaus *et al.* (1981), Caby *et al.* (1995), Costa *et al.* (1990) e Bertani *et al.* (1990 In: SILVA FILHO *et al.*, 2007).

Geologicamente pode-se dizer que os estuários citados com a mesma origem de formação possuem macrocaracterísticas semelhantes, porém, morfologicamente, os fatores de interatividade ambiental, oceanográficos e meteorológicos, bem como os antrópicos, fazem com que essas feições expressem diferenças locais bem específicas (SILVA FILHO *et al.*, 2007).

No Ceará existem vários estudos mostrando a natureza da influência antrópica e/ou fatores naturais determinantes, tanto na hidrodinâmica quanto na morfologia de rios importantes para o Estado.

No extremo oeste do Ceará, já na divisa com o Piauí, o sistema estuarino Timonha/Ubatuba foi estudado por Dias (2005), que destacou a expansão da carcinicultura, crescimento urbano e desenvolvimento agroindustrial como principais fatores de influência na hidrodinâmica e sedimentologia do rio Timonha, fazendo com que esse ficasse subordinado ao regime sazonal de precipitações, assoreamento da foz por deriva litorânea, oscilação de marés e correções da vazão liberada pelo açude Itaúna, que, em períodos de estiagem, pode comprometer a capacidade de suporte do estuário.

Ainda no litoral oeste, Quintela (2008), analisou o sistema estuarino do rio Curu abrangendo uma Área de Proteção Ambiental (APA) e observando que em virtude da hidrodinâmica do local ser dominada pelo regime sazonal de vazão de águas e deriva litorânea, a APA deveria abranger uma nova área constando de 7,3Km da foz.

No rio Jaguaribe, Cavalcante (2012) e Paula (2006) mostram as alterações morfodinâmicas e morfológicas a jusante da barragem do Castanhão, comprovando processos erosivos nas margens fluviais, aumento das mínimas e redução das máximas na vazão após a construção desta e alterações no transporte de sedimentos, levando o Jaguaribe a buscar um novo ponto de equilíbrio pós barragem, sendo essa construção um marco nas mudanças morfológicas e hidrodinâmicas do Rio.

Pinheiro (2003), abordou o rio Malcozinhado, no litoral leste do Estado, sob a óptica de riscos e gestão ambiental, deixando claro que mais uma vez a morfodinâmica de um rio ficou subordinada ao regime sazonal de precipitações,

processos de remobilização por deriva litorânea, deflação eólica e oscilações de marés, em virtude da expansão urbana desordenada nas últimas duas décadas.

Rocha (2013) analisou a foz do rio Pacoti e praias adjacentes a fim de traçar um perfil evolutivo em meso e microescala temporais compreendendo a morfodinâmica da desembocadura ante as variáveis atuantes, verificando que em 51 anos de análise a atividade antrópica cresceu em mais de sete vezes, comparada ao início, as praias adjacentes foram objetos de erosão de mais de 30 metros e a desembocadura perdeu sedimentos quase o ano inteiro, havendo recuperação apenas no final do período.

Godoy (2014) trabalhou no Jaguaribe, também, no sentido de identificar alterações morfológicas em ilhas formadas ao longo do Rio como resposta ao uso e ocupação das margens correlacionando-as com mudanças climáticas durante um período de 22 anos por meio de geoprocessamento de imagens, levando-o a identificar alterações no tamanho dessas ilhas vegetadas por mangue, contribuições de carga sedimentar para dentro do estuário advindos do continente por intermédio da agricultura e da carcinicultura que, em combinação com a redução do fluxo de água pela construção de barragens e a variação de chuvas anuais influenciadas pelas mudanças climáticas globais, contribuem diretamente para essa diminuição de fluxo do Rio, favorecendo seu assoreamento.

Rodrigues (2014) estudou o rio Coreaú, visando a entender o preenchimento do vale inciso do estuário em micro, meso e macroescalas, por meio do marcador radionuclídeo  $^{210}\text{Pb}$  em testemunhos coletados ao longo do Rio, produzindo perfis e seções estratigráficas que o identificaram como um estuário fluviomarinho que preencheu os vales formados no grupo Barreiras nos últimos dez mil anos Antes do Presente (AP).

Farrapeira Neto (2013) identificou os processos interativos dos componentes geoambientais do baixo Coreaú e plataforma adjacente, para definir os fluxos desencadeados no Plio-Pleistoceno/Holoceno e a paleogeografia dessa região. Silva (2013) identificou formas de fundo e a evolução da desembocadura do estuário do Coreaú, utilizando imagens sonográficas e perfis sísmicos, bem como a análise de batimetrias históricas. Camelo (2013) avaliou a influência do transporte

eólico no *bypass* de sedimentos para o canal estuarino na desembocadura do estuário do Coreaú.

Todos esses estudos têm em comum a preocupação de analisar a influência antrópica como fator de modificação das características ambientais dos estuários estudados, associada a outros fatores naturais. A análise dessas interferências, no entanto, só pode ser feita com segurança e com maior profundidade com suporte no conhecimento dos mecanismos de sedimentação e evolução em médio prazo, elemento destacado neste estudo.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Levantamento bibliográfico, cartográfico e de dados institucionais

Foram realizados levantamentos bibliográficos e cartográficos referentes à área de estudo e ao tema, que embasaram o experimento realizado. Esse levantamento bibliográfico revelou um número de publicações na área pertinente acima de 30 mil artigos em mais de 60 anos de pesquisas realizadas em estuários, abrangendo diversas áreas científicas, com publicações nas áreas de Geologia, Sedimentologia, Geografia, Biologia, Biogeoquímica e Oceanografia, evidenciando a importância do ambiente estuarino.

A DHN contribuiu significativamente para o compartilhamento de dados, cartas náuticas e cálculos oceanográficos, além das tábuas de marés divulgadas regularmente em seu sítio na rede mundial de computadores.

A Biblioteca Nacional (BN), do Rio de Janeiro, também foi fonte de pesquisa para elementos cartográficos históricos e bibliografia necessária.

### 4.2 Sensoriamento remoto e SIG

A aplicabilidade dessa técnica de sensoriamento remoto, do ponto de vista das Ciências Fluviais, é perfeitamente aceita, visto que a sazonalidade da passagem dos satélites já é um monitoramento indireto (CARBONNEAU; PIÉGAY, 2012; FIGURA 6).

As imagens utilizadas neste trabalho foram as do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT), Satélite comercial de observação de alta resolução (QUICKBIRD) e Satélite comercial de observação de alta resolução (WORLDVIEW - II). Foi elaborado um banco de dados em ambiente Sistema de Informação Geográfica (SIG), para facilitar o processamento das informações adquiridas *in situ* e integrá-las às imagens adquiridas, objetivando a confecção de produtos finais temáticos.

Figura 6 – Diferentes tipos de satélites e seu alcance

<b>SENSOR/ PLATAFORMA</b>	<b>DATA DE LANÇAMENTO</b>	<b>RESOLUÇÃO ESPACIAL</b>	<b>RESOLUÇÃO TEMPORAL</b>	<b>BANDAS ESPECTRAIS</b>
MODIS / TERRA	DEZEMBRO/1999	250m(bandas 1-2) 500m(bandas 3-7) 1000m(bandas 8-36)	16 dias	36 bandas, do visual ao infravermelho e termal
ASTER / TERRA	DEZEMBRO/1999	15m(bandas 1-3) 40m(bandas 4-9) 90m(bandas 10-14)	16 dias	14 bandas, do visual ao infravermelho e termal
ETM+ / LANDSAT 7	ABRIL/1999	15m Pancromática 30m(bandas 1-5 e 7) 60m(banda 6)	18 dias	8 bandas: Pancromática, 3 visuais, 2 infravermelho, 2 termais
SPOT - 5	MAIO/2002	2,5m Pancromática 10m (bandas 1-3) 20m banda 4	2-3 dias	5 bandas: Pancromática, 2 visuais no azul, infravermelho e termal
IKONOS	SETEMBRO/1999	82cm Pancromática 3,2m Multiespectral	3 dias	5 bandas: Pancromática, 3 visuais e infravermelho
QUICKBIRD	OUTUBRO/2001	65cm Pancromática 2,62m Multiespectral	2,5 dias	5 bandas: Pancromática, 3 visuais e infravermelho
WORLDVIEW – 1	SETEMBRO/2007	50cm Pancromática	1,7 dias	1 banda Pancromática
WORLDVIEW – 2	OUTUBRO/2009	50cm Pancromática 1,85m Multiespectral	1,1 dia	9 bandas: Pancromática, 6 visuais e 2 infravermelho
GEOEYE	SETEMBRO/2008	50cm Pancromática 1,65m Multiespectral	2,1 dia	5 bandas: Pancromática, 3 visuais e infravermelho
FOTOGRAFIA AÉREA	NÃO INFORMADO	Variável, Tipicamente De 2 a 50cm.	≈ 1 dia	Variável, tipicamente monocromáticas, com vários tipos de instrumentos disponíveis.

Fonte: Carbonneau e Piégay (2012). Modificada pela autora.

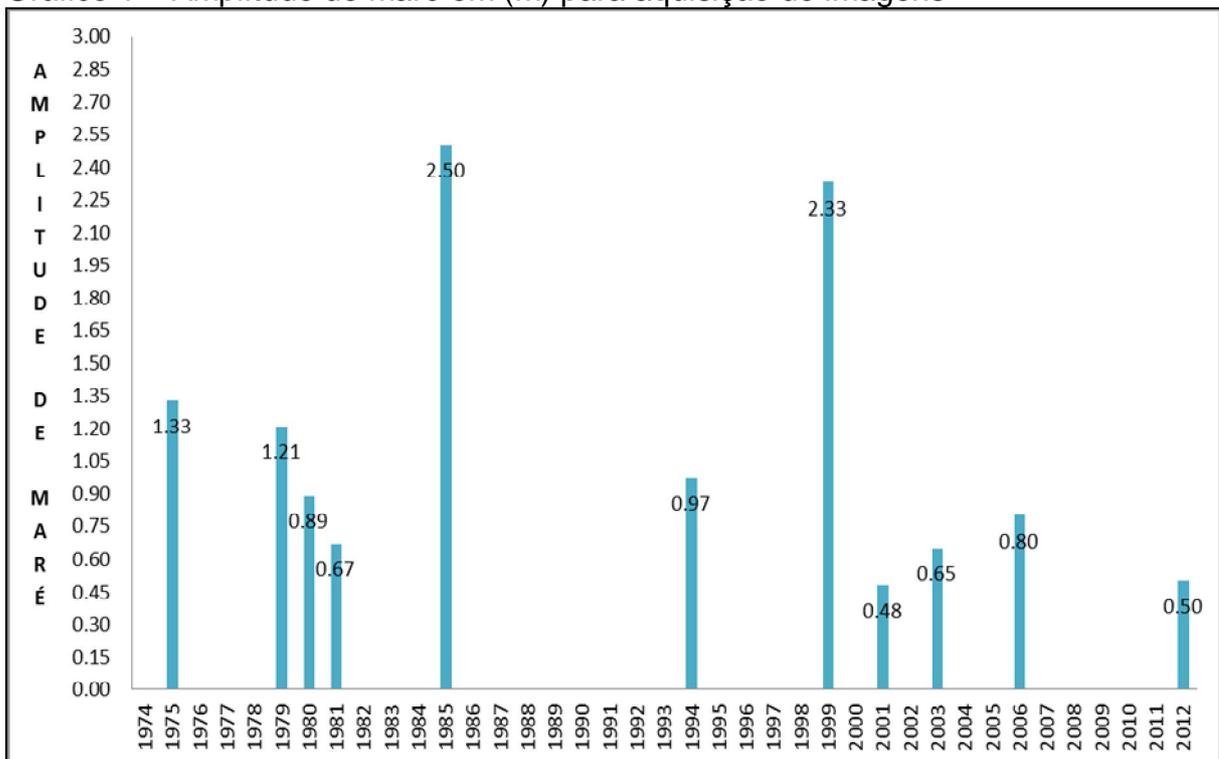
### 4.3 Classificação de imagens para histórico geomorfológico

As imagens de satélite utilizadas foram adquiridas no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que disponibiliza imagens dos satélites LANDSAT 1, 2, 5 e 7 com todas as bandas na faixa do visível (incluindo infravermelho), pancromáticas, e de resoluções espaciais distintas, de 15m a 80m. As imagens QUICKBIRD e WORLDVIEW – II utilizadas foram baixadas da Digital Globe, gratuitamente, como amostra de seus produtos: dessa forma a resolução máxima é de 15m.

A seleção de imagens feitas para este trabalho foi baseada em anos de referência relacionados com eventos naturais de alta energia (*El Niño* e *La Niña*) que influenciam o clima da região e menor cobertura de nuvens na área estudada, para que se obtivesse uma visualização completa e límpida das feições fotografadas pelos satélites.

Como o imageamento tem uma periodicidade própria do satélite, foram escolhidas imagens do mesmo período de aquisição nos vários anos, relacionando o horário de passagem do satélite com a tabela de marés para evitar possíveis erros de amplitude de marés no local estudado, com o cuidado de verificar os horários de marés baixas, visando a ressaltar as estruturas dentro e nas margens do rio Coreaú (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 – Amplitude de maré em (m) para aquisição de imagens



Fonte: DHN – Tábuas de maré.

As exceções na amplitude maré relacionadas são apenas dos anos de 1985 e 1999, respectivamente, sendo utilizada para parâmetro de referência de diferença a imagem de 1985, com amplitude de maré mais alta.

#### **4.3.1 Imagens LANDSAT, QUICKBIRD e WORLDVIEW - II: processamento e correções**

As imagens LANDSAT utilizadas estão listadas na Tabela 01. Todas as imagens foram georreferenciadas para o DATUM SIRGAS 2000, ZONA 24S, de acordo com as referências do IBGE para transformações e georreferenciamento de imagens. Para tal processamento, foi utilizado o *software* Envi 4.5, possibilitando o

agrupamento de bandas das imagens em conformidade com as necessidades de visibilidade.

A série de satélites LANDSAT teve seu início de atividades por volta de 1972 com o lançamento do satélite LANDSAT MSS 1. O MSS é um sensor que tem características espectrais de quatro bandas (4, 5, 6 e 7) e espaciais de 80m, significando que a combinação dessas bandas possibilita a observação direta de alvos do tipo: planícies fluviomarinhas, vegetações de tabuleiros, e destaca também o relevo (FLORENZANO *et al.*, 1990). Os LANDSAT 2 e 3 também tem as mesmas características, já os 4, 5, 6 e 7 trazem mais três bandas de resolução espectral e denotam resolução espacial de 30m com banda pancromática de 15m possibilitando variadas combinações e, dessa forma, ressaltando feições específicas na faixa do visível de acordo com o objetivo do observador.

O QUICKBIRD é um satélite comercial lançado em 2001, equipado com câmeras de alta resolução espacial e espectral na ordem de 0,61m para a pancromática e 2,5m para as bandas multiespectrais. As imagens Quickbird e WorldView – II utilizadas foram baixadas do *site* Digital Globe 2013, sendo que a Quickbird foi utilizada como referência para georreferenciar as outras imagens do trabalho, já que expressa uma resolução espacial melhor, apesar da imagem utilizada aqui ter sua resolução de 15m, pela gratuidade da aquisição.

O WORLDVIEW II é um satélite razoavelmente novo, lançado em 2009 e com resolução espacial de 0,50m e oito bandas multiespectrais, além das bandas específicas para estudos costeiros, oceanográficos, e também bandas específicas voltadas para estudos de vegetação e biomassa (DIGITALGLOBE, 2014).

Todas as imagens foram georreferenciadas para o DATUM SIRGAS 2000, ZONA 24S.

A metodologia de mosaico de imagens foi utilizada aqui para obter melhor visibilidade da cena, assim como para complementá-la, já que o campo de varredura do satélite não cobriu toda a área de estudo.

As cenas das imagens Quickbird do ano de 2012 e WorldView II do ano de 2012 formaram um mosaico para complementar a área de estudo coberta pelo

trabalho. Esse método possibilitou a análise total desse ano, referente aos padrões de feições utilizadas para compor o panorama de uso e cobertura da área (TABELA 1).

Tabela 1 – Satélites com respectivos anos utilizados, bandas e resolução

Satélites	Ano da imagem	Bandas	Resolução
LANDSAT 1 - MSS	1975	4, 5, 6, e 7	80m
LANDSAT 2 MSS	1979, 1980, 1981	4, 5, 6, e 7	80m
LANDSAT 5	1985, 1989, 1994, 1999, 2003,2006	1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7	30m
LANDSAT 7	2001	8 – Pancromática	15m
QUICKBIRD	2012	1,2,3	15m
WORLDVIEW - II	2012	1, 2, 3	10m

Fonte: A autora.

As diversas bandas das imagens foram combinadas de acordo com o que se objetivava ressaltar.

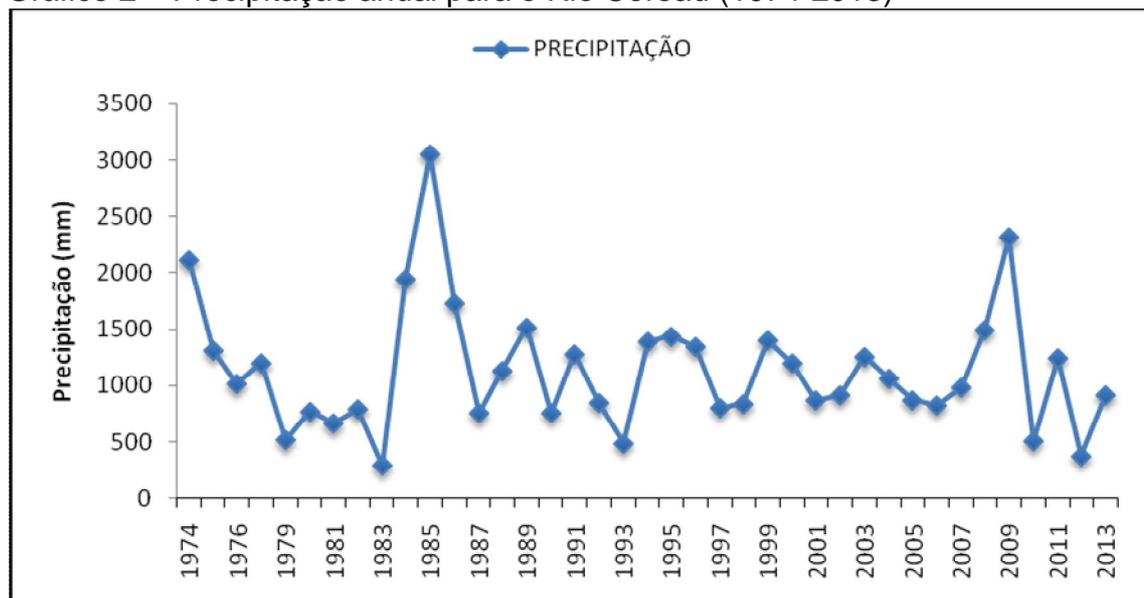
As combinações de bandas no sistema RGB permitem que as feições observadas na imagem se destaquem de acordo com a emissão e reflexão de espectros de luz. Sendo assim, a combinação das bandas 432 no sistema RGB é utilizada para ressaltar a vegetação de mangue, outras vegetações, áreas de degradação vegetal, áreas úmidas e de drenagem; as bandas 321 são a cor natural do ambiente, como uma fotografia colorida, onde o verde é mangue ou floresta, e o azul é água, seja de oceanos ou lagos, o branco normalmente é areia ou dunas, podendo também ser uma área desmatada; a combinação 752 destaca unidades geoambientais, já que particulariza planícies fluviomarinhas e vegetações de tabuleiros, porém a 457 e 453 também servem para o mesmo fim, destacando bem o relevo (FLORENZANO *et al.*, 1990).

As imagens georreferenciadas foram utilizadas também para determinar o uso e cobertura do entorno do rio Coreauá mediante cálculo de áreas-limite de feições ao longo dos anos, utilizando *software* de geoprocessamento ArcGis 10.2. Os anos dessas imagens foram escolhidos de acordo com os eventos meteorológicos mais marcantes ao longo de 37 anos na área.

### 4.3.2 Uso e cobertura: análise

Para fazer a análise de uso e cobertura, assim como o surgimento de feições e formações arenosas dentro do estuário, foram consideradas as médias de precipitação para a área de Camocim, de acordo com dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), de 1974 até 2013 (GRÁFICO 2), como forma de controle dos anos em que a quantidade de chuva possa interferir ou não na área estudada. No segundo gráfico, posteriormente, é apresentada a quadra chuvosa para a área de estudo, que também caracteriza o período para o Nordeste do Brasil. Estes dados possibilitaram uma correlação com os eventos meteorológicos *El Niño* e *La Niña* e suas prováveis consequências para a área de estudo.

Gráfico 2 – Precipitação anual para o Rio Coreaú (1974-2013)



Fonte: ANA (2006). Modificado pela autora.

## 4.4 Batimetria do rio Coreaú, Camocim-CE-Brasil

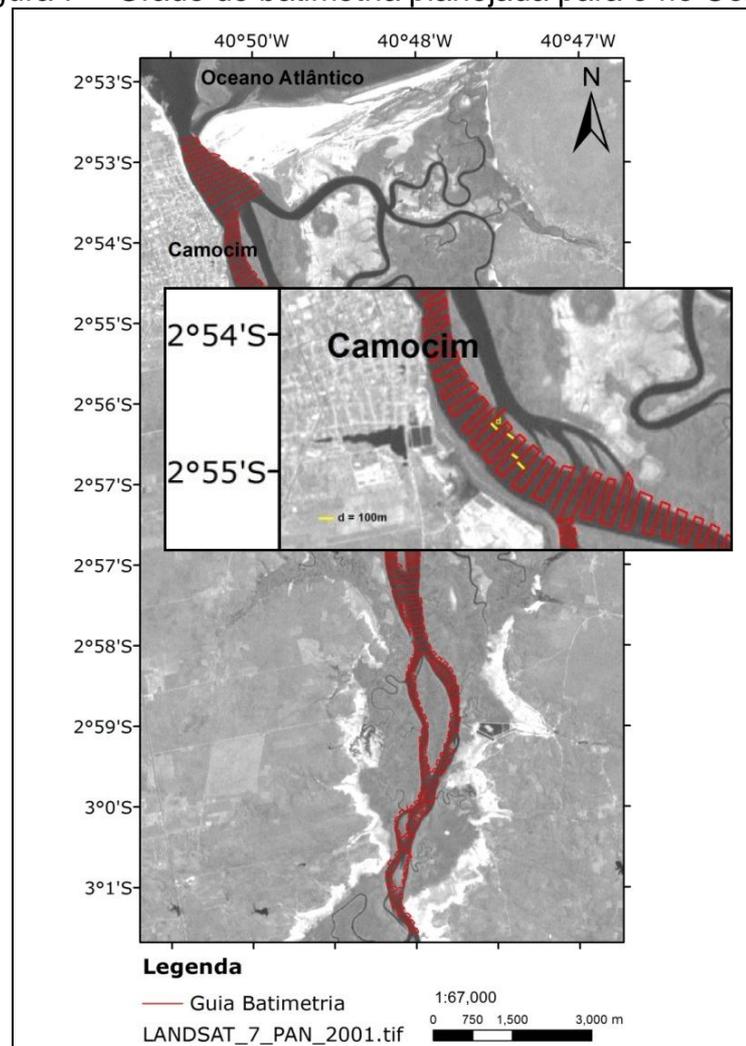
### 4.4.1 Planejamento de campo

As etapas de campo ocorreram nas seguintes datas: campo 01, 22 e 23 de setembro de 2012; campo 02, 27 e 28 de outubro de 2012 e campo 03, 12 e 13 de março de 2013.

Para realizar a batimetria, foi planejada uma malha amostral de medições com distância entre os perfis batimétricos de 100 em 100m de acordo com a distância entre as margens do rio Coreaú e a extensão que se pretendia percorrer no local. Os perfis foram estimados com base na observação da distância entre margens, a maior distância com valor de 972,63m e a menor distância com valor de 132,52m, por meio de imagens de satélite e extensão do rio que se pretendia percorrer, que, pela imagem, seria até o ponto mais próximo a cidade de Granja, objetivando, assim, ter melhor detalhamento da área de estudo (FIGURA 7).

O planejamento foi feito para os campos 1 e 2, respectivamente, já que o campo 3 foi executado de acordo com condições locais de maré que limitaram o alcance pretendido da embarcação.

Figura 7 – Grade de batimetria planejada para o rio Coreaú



Os equipamentos utilizados para aquisição de dados batimétricos foram instalados numa embarcação alugada no local de estudo, a “Maresia” (FIGURA 8a), barco pesqueiro adaptado para travessia de pessoas de uma margem a outra do rio Coreaú na secção maior do Rio onde também atravessam carros, com aproximadamente 28ft ou 8,5 m de comprimento. Nessa embarcação foi instalada uma ecossonda GPSMap 426S Garmim (FIGURA 8c), com um transdutor acoplado a bombordo da embarcação, mais perto da popa, presa a uma haste de metal adaptada para a prender na borda do barco (FIGURA 8d), com uma distância do fundo da embarcação de 0.50m, considerados no cálculo da correção de maré para o local. Os dados gerados por esse equipamento são referentes a profundidade, temperatura da água, coordenadas geográficas e horário do ponto coletado, numa taxa de transmissão de um dado/segundo. A ecossonda e o Sistema de Posicionamento Global (GPS) são conectados a um *notebook* que recebe os dados no padrão *National Marine Electronics Association* (NMEA 2.3), gravando-os em tempo real, no formato Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação (ASCII) em arquivos (txt). O NMEA 2.3 é um padrão de comunicação americano para dados marinhos em equipamentos, que possibilita a leitura do GPS e transmissão desses dados com a ecossonda, simultaneamente. Foram gerados 23 arquivos resultantes dos três campos realizados. Posteriormente, esses arquivos foram processados, transferidos para tabelas em Excel, e corrigidos quanto à altura da maré no dia da coleta, de acordo com a DHN, usando como referencial o porto de Luís Corrêa, no Piauí.

Foram gerados e refinados 23 arquivos de batimetria, tratados em planilhas Excel, onde os 35.623 pontos amostrados de profundidade em 25km de rio percorridos foram corrigidos para o nível reduzido da DHN, com o objetivo de eliminar o efeito do erro de altura da maré. Desse modo, os valores foram inseridos em equações polinomiais fornecidas pela DHN e a batimetria foi corrigida para o zero hidrográfico (plano de referência convencionado situado abaixo do nível da maré astronômica mais baixa referente às linhas isobatimétricas representadas nas cartas náuticas e também as previsões de altura de maré publicadas pela DHN).

A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) enviou uma planilha para facilitar o cálculo da correção da maré auxiliando assim todas as outras correções

posteriores. Além da correção da altura da maré para o zero hidrográfico, acrescentou-se a correção da haste onde estava fixado o equipamento de medição.

Figura 8 – Equipamentos utilizados no campo para batimetria



Fonte: Acervo da autora.

Nota: a: Embarcação Maresia; b: Equipamentos dentro da embarcação; c: GPSMap 426S Garmim; d: Haste de suportada Ecossonda.

#### 4.4.2 Batimetria: análise geoestatística

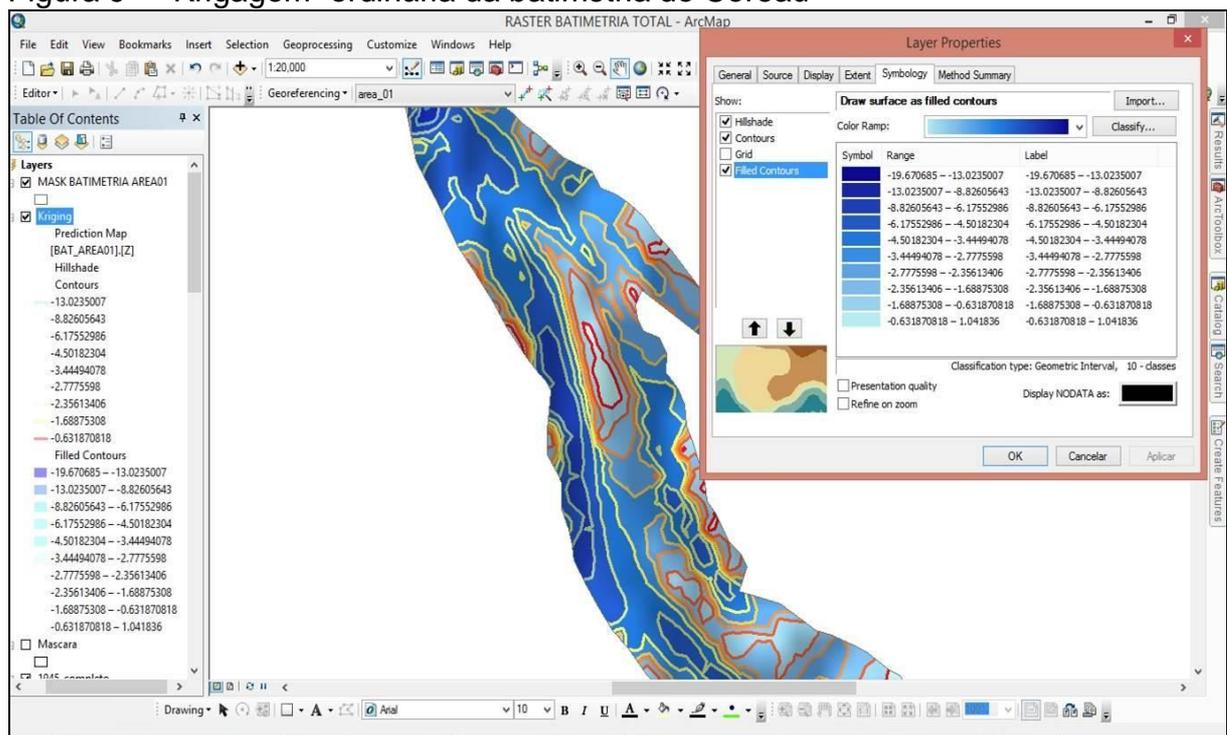
Indicadores de batimetria normalmente são coletados misturados a outros dados, como latitude, longitude, hora e temperatura. Coletados por meio de uma ecossonda, esses dados são lidos em sentenças do tipo: \$SDDPT, para o parâmetro profundidade. Depois de filtrar essas sentenças em planilhas do programa Excel, obtêm-se uma tabela com colunas que informam a latitude, longitude e profundidade bruta coletada em campo. Isso posto, faz-se a correção de altura de maré utilizando planilhas fornecidas pela DHN como referência de cálculo para obter o nível

reduzido de maré. Esses indicadores filtrados são inseridos no banco de dados do ArcGis associados a sua localização geográfica já georreferenciada.

O ArcGis traz em sua matriz um modelo geoestatístico para análise de pontos ou amostras com localização geográfica definidos, denominado “Krigagem”.

A “Krigagem” é um modelo matemático que pode ser entendido como forma de interferência bayesiana ou predição linear, partindo do princípio que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados (VALERIANO, 2002). Desse modo, a metodologia geoestatística utilizada aqui foi a “Krigagem Ordinária”, que, como método estatístico estimador, leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas (FIGURA 9).

Figura 9 – “Krigagem” ordinária da batimetria do Coreaú



Fonte: A autora.

A correlação dessas variáveis, ou seja, sua espacialização, agrupa os valores mais próximos em intervalos definidos pelo usuário. Nesse caso, o intervalo utilizado foi de cinco unidades, mais apropriado para a área em análise, conforme a menor distância entre margens.

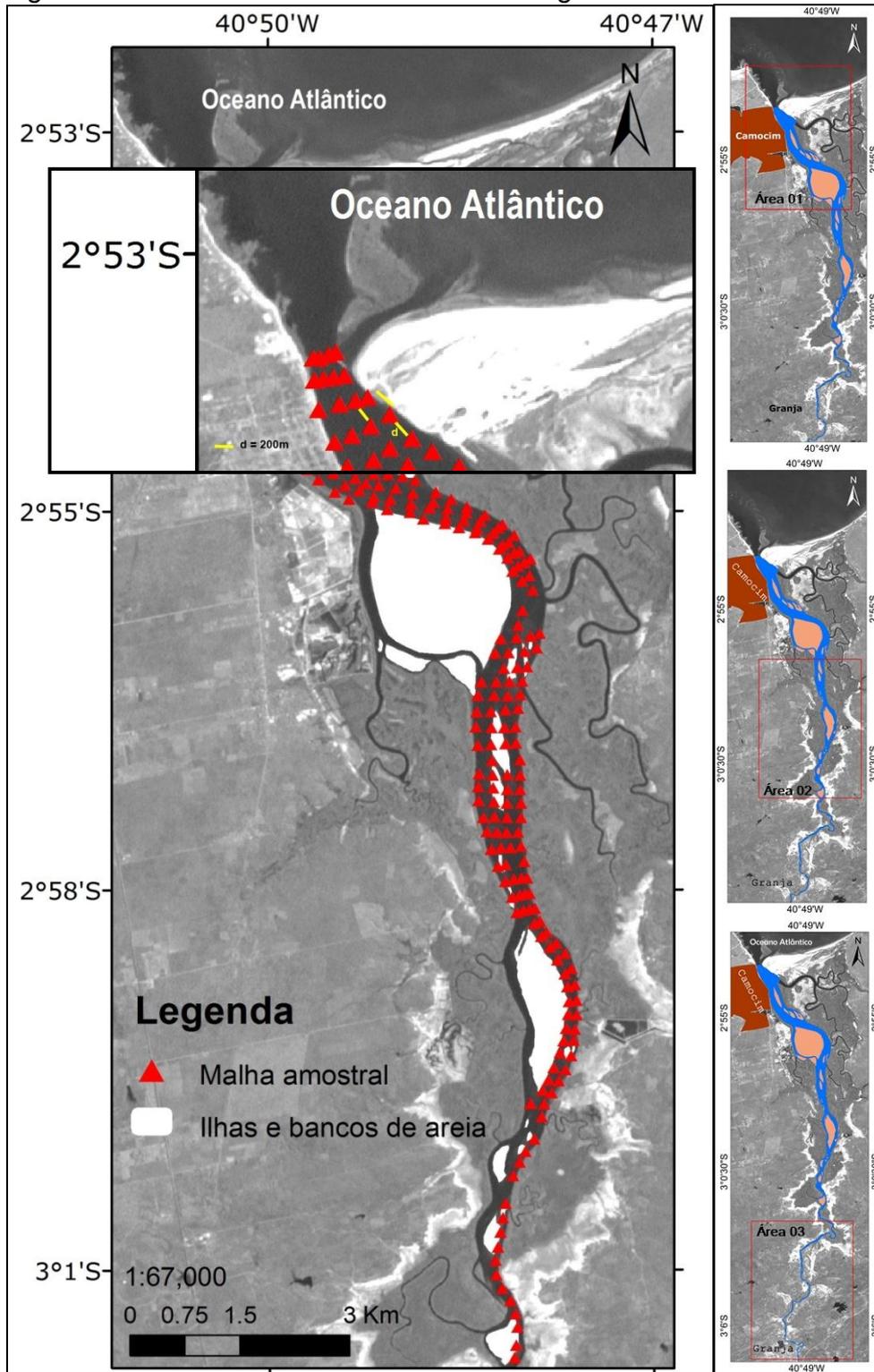
## **4.5 Sedimentologia do rio Coreaú**

No levantamento sedimentológico do Coreaú, foi coletado um total de 354 amostras, distribuídas numa malha amostral de quatro amostras recolhidas por perfil, sendo cada perfil perpendicular à margem do Rio e distantes em 200m um do outro. No trecho da área 03 não foi coletado sedimento, pois a largura do Rio não permitiu a navegação perpendicular da embarcação, ficando a coleta dessas amostras distribuídas nas áreas 01 e 02 (FIGURA 10).

### **4.5.1 Coleta de amostras**

A coleta das amostras foi feita utilizando-se uma draga de amostragem de fundo do tipo *VanVenn* puxada manualmente (FIGURA 10). As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e etiquetadas com marcadores plásticos e numerados. Todos os pontos de coleta foram georreferenciados com GPS e as amostras foram acondicionadas em *freezer* até seu processamento, o qual foi feito no Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG), no Labomar, e no Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO), na Universidade Estadual do Ceará (UECE).

Figura 10 – Malha amostral de sedimentologia do Coreaú



Fonte: Acervo da autora.

Figura 11 – Amostragem de sedimentos no Coreaú



Fonte: Acervo da autora.

Nota: a- Vanvinn; b- Coleta de amostras de sedimento e acondicionamento.

#### 4.5.2 Análise granulométrica

Para fazer a separação dos tamanhos de grãos das amostras e todos os procedimentos pertinentes ao processo, foi utilizada a metodologia tradicional sugerida por Suguio(1973), referente a análise granulométrica e pipetagem.

Os procedimentos para análise granulométrica são descritos a seguir abraçando o método proposto por Suguio(1973).

- a) **Separação de sedimentos grossos.** Em laboratório as amostras são lavadas, quarteadas e secas em estufa com temperatura de 60 °C por 72 horas. Em seguida são pesadas 100g desse material para lavagem e separação de sedimentos grossos de sedimentos finos (< 0,062mm) em uma peneira. Feito isso, os sedimentos finos são armazenados para posterior análise dessa fração e os sedimentos ditos “grossos” voltam para a estufa para secagem na mesma temperatura do início, porém por um período de 48h. Ao sair da estufa, as amostras são levadas para um peneiramento mecânico, que utiliza uma sequência de dez peneiras alinhadas verticalmente e com distintos diâmetros de malha, (variando de 2,83mm a 0,062mm), que são colocadas num aparelho de agitação mecânico com movimentos centrífugos durante

3min, fazendo com que os grãos de areia se separem de acordo com o diâmetro preso em cada malha. Desse modo, obtêm-se as classes arenosas, que são pesadas e inseridas no programa de análise computacional para posterior classificação.

- b) **Separação dos sedimentos finos.** Os sedimentos que foram separados na lavagem inicial, depois de decantados e drenados a água da parte superior do recipiente até o limite de mistura com a água com sedimentos finos, são transferidos para uma proveta de 1000ml. Se o volume de água + sedimentos finos não atingir o volume total da proveta, ela deve ser completada para tal. Objetivando a separação dos sedimentos do tipo *silte* dos sedimentos do tipo *argila*, inicia-se a partir daí a metodologia de pipetagem.
- c) **Pipetagem.** O método utilizado para separar a fração de *silte* da fração de *argila* utiliza como princípio a Lei de Stokes (1854), a qual permite o cálculo à resistência friccional exercida sobre uma partícula esférica em queda em meio fluido calmo de sedimentação (SUGUIO, 1937). Sendo assim, para observar e medir esse processo, utiliza-se um artifício de reação química por meio do defloculante de oxalato pesado em 0,67g e adicionado a solução de sedimentos finos das provetas. Todo o processo é cronometrado de acordo com o tempo de decantação, considerando-se o peso das partículas. É necessária uma organização prévia das provetas, que devem ser enfileiradas, etiquetadas com o número da amostra analisada e alinhadas com quatro placas de *Petri*, cada uma etiquetada com a fração a ser retirada da proveta, ou seja, fração de *silte* grosso, fração de *silte* médio, fração de *silte* fino e fração de *silte* muito fino. No primeiro tempo de 3min e 52 segundos, retiram-se com uma pipeta 20ml da solução na marcação das provetas de 400ml, colocando esse volume na placa de *silte* grosso; no segundo tempo de 7min e 44 segundos, retiram-se mais 20ml, agora na marcação de 700ml da proveta, colocando o volume na placa de *silte* médio; no terceiro tempo de 31min, retiram-se mais 20ml na mesma marcação de 700ml da proveta, que são depositados na placa de *silte* fino; finalmente no último tempo de 2 horas e 3min, extraem-se mais 20ml na marcação de 700ml da proveta, depositando-os na placa de

*silte* muito fino. Após esse procedimento todas as placas de Petri são levadas à estufa para secagem e pesagem posterior, resultando no cálculo da quantidade de *silte* contido na amostra por diferença do peso da placa e do peso com amostra. Para determinar a quantidade de argila, a subtração é feita a partir das 100g iniciais, do somatório das pesagens do peneiramento mecânico e da pipetagem (FIGURA 12d).

Todas as amostras foram inseridas no *software* Programa de Análise de Sedimentos (ANASED), desenvolvido pelo Laboratório de Geologia Marinha (LGMA) da UFC. Foi utilizada a classificação de Folk e Ward para separação em classes de sedimentos.

#### **4.5.3 Carbonato de cálcio**

O teor de carbonato de cálcio foi determinado de acordo com o Método do Calcímetro de Bernard modificado, onde as amostras foram pesadas em 5,0g cada, depois de secas em estufa a 60°C. Essas amostras são misturadas em um vidro adaptado (Erlenmeyer + tubo de ensaio) e “atacadas” por 2,0ml de ácido Clorídrico (HCl) diluído a 10%. Antes de misturar as amostras com o HCl, a quantidade de 0,5g de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) é pesada e colocada no sistema para aferir o valor do “branco”, ou seja, o valor de referência para as amostras. Em seguida, são colocadas num sistema de vasos comunicantes feito com provetas e com uma quantidade de água em uma das extremidades. Quando acontece a mistura (HCl + amostra +  $\text{CaCO}_3$ ), há uma reação química com liberação de gás  $\text{CO}_2$ , fazendo com que a coluna d’ água se desloque no sistema fechado e indique o valor de teor de  $\text{CaCO}_3$  da amostra (FIGURA 12a; 12b).

#### **4.5.4 Matéria orgânica**

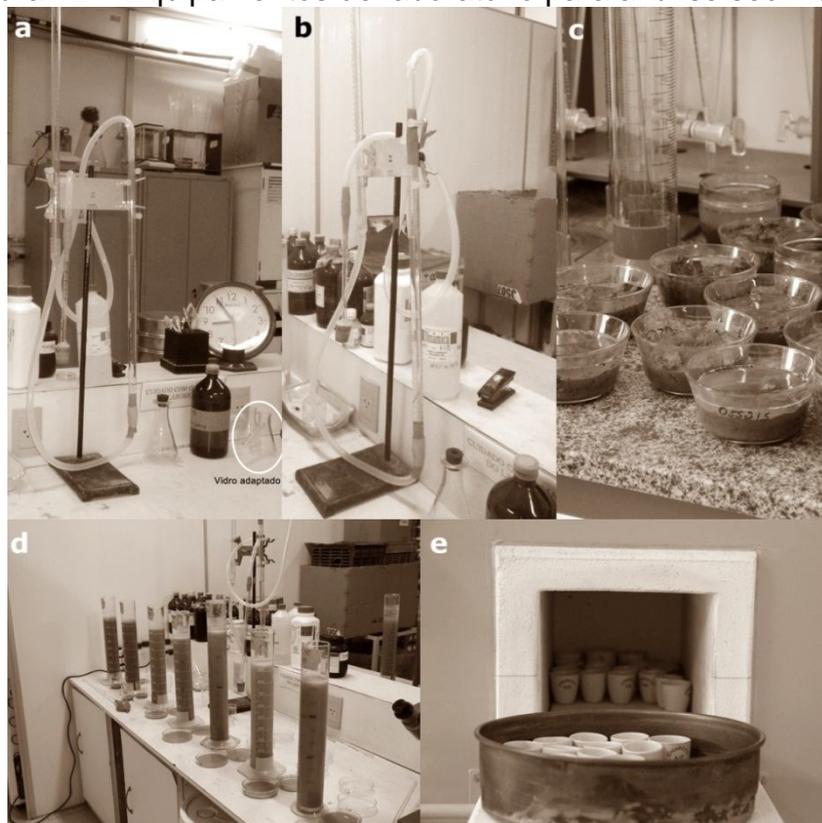
A matéria orgânica no solo e no perfil geológico está diretamente relacionada com os processos de humificação e intemperismo químico de minerais formadores de rochas (SPOSITO, 1989).

A matéria orgânica determinada nas amostras coletadas utilizou a metodologia de perda de matéria orgânica por queima e diferença de peso em balança analítica proposta por Suguio (1973).

Todas as amostras foram lavadas, secas em estufa, pesadas em quantidade de 2g cada qual, colocadas em cadinhos de porcelada e levadas à mufla a 400°C durante duas horas.

A diferença entre o peso inicial da amostra e o peso final, depois da mufla, corresponde à quantidade de matéria orgânica no recipiente (FIGURA 12e).

Figura 12 – Equipamentos de laboratório para análise sedimentar



Fonte: Fotos C,D,E do acervo da autora; Foto a: Nalu Dias; Foto b: José Vítor R.  
Nota: a. e b: Calcímetro de Bernard; c: Amostras em processo de lavagem; d: Amostras em processo de pipetagem; e: Amostras em processo de queima de Matéria Orgânica.

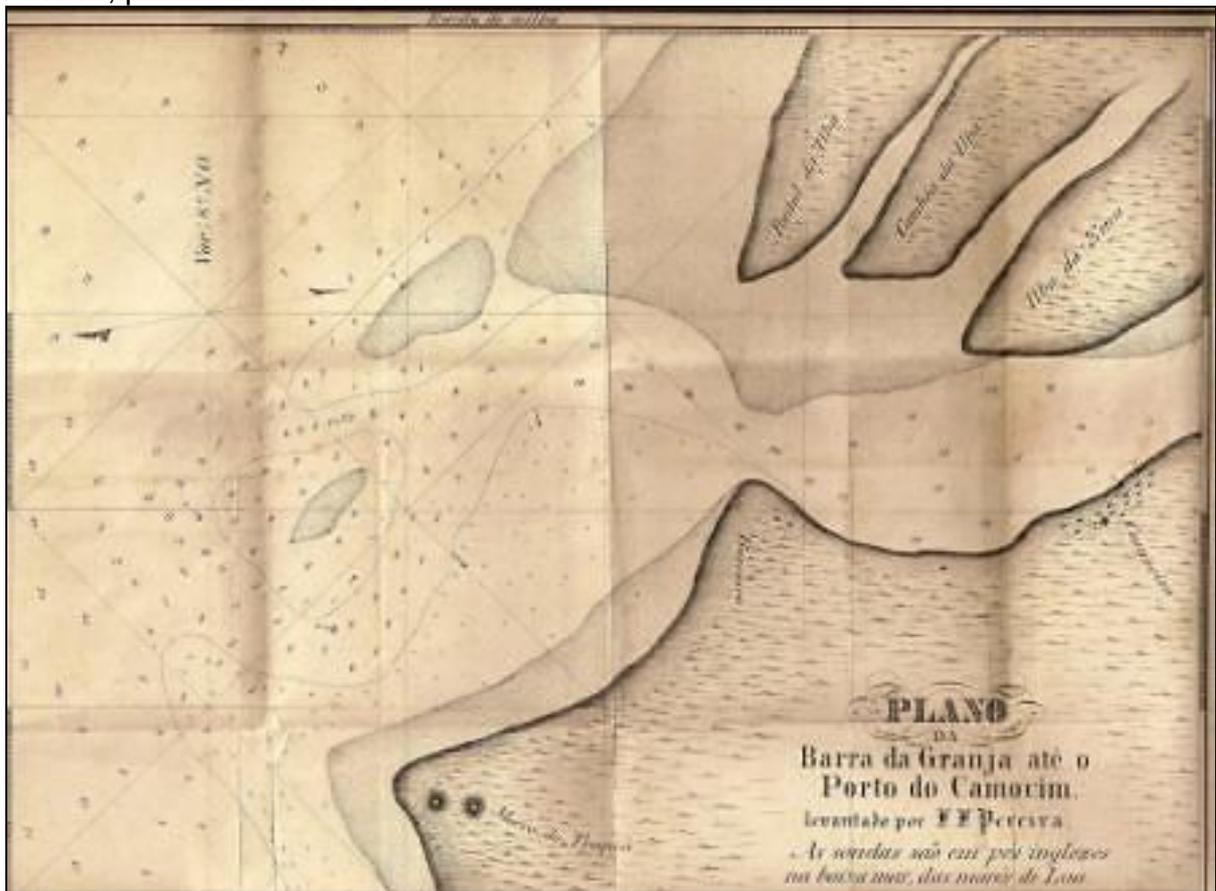
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização geomorfológica do estuário do rio Coreaú

#### 5.1.1 Morfologia

O mais antigo registro disponível da morfologia do estuário do rio Coreaú data de 1877, desenhado pelo prático da Costa Norte do Brasil, Felipe Francisco Pereira (FIGURA 13). O relato do prático indicava que o estuário apresentava condições de navegabilidade para navios com 12 pés de calado ( $\approx$  4 m).

Figura 13 – Mapa feito pelo prático da Costa Norte do Brasil, Felipe Francisco Pereira, publicado em 1877



Fonte: Pereira (1877).

Na época, as estruturas rochosas pertinentes à Formação Camocim e a mobilidade das barras arenosas submersas e emersas na desembocadura eram evidentes, mesmo com ausência de aqüedagem na bacia hidrográfica. A primeira

barragem construída no vale do Coreaú foi no ano de 1890, na cidade de Granja (FIGURA 14).

Figura 14 – Barragem construída no rio coreaú no ano de 1890 na cidade de Granja



Fonte: A autora.

As rochas submersas defronte à desembocadura funcionavam como armadilhas para os sedimentos transportados em deriva litorânea. No Estado do Ceará, o transporte é predominante de E-SE, como o descrito no trabalho de Bensi (2006).

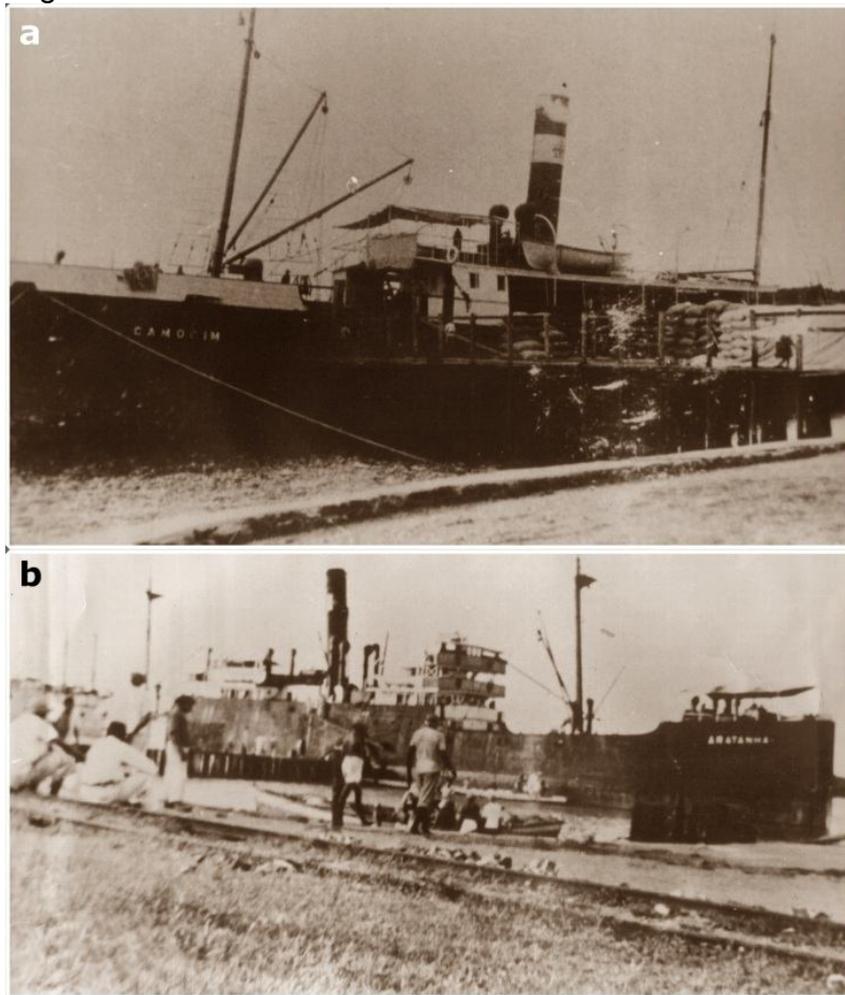
A Barra do rio Camocim, é toda circundada de bancos e recifes, sendo a entrada desta por entre os mesmos; aqui há duas bóias desiguais em tamanhos. Nesta entram navios até 12 pés de calado, apesar de ser ella mudável e o canal ser por cima dos referidos bancos, como dissemos; elles correm do NO ao SE por espaço de 3 milhas. Esta barra alguma vezes está mais ao N e outras mais ao S. A povoação, que conserva o nome do rio, tem bastantes casas, e apresenta algum progresso; ella acha-se collocada

á margem occidental do rio, ficando a leste da mesma o ancoradouro. Há dous armazéns pertencentes ás duas companhias de vapores costeiros que tocam nesse porto, nos quaes recolhem-se as cargas e carregamentos destinados á cidade do Granja, que está a 7 leguas acima. Os navios costumam descarregar atracados aos trapiches, mas é necessário que tenham estes bons cabos para resistir ás fortes ventanias que alli se levantam nas epochas de verão, e a correnteza do rio no tempo das cheias. (PEREIRA, 1877, p. 80).

Nos anos de 1930 atracavam navios com calados variando de 2,5 a 4 m. Dentre eles se destacavam o NM/CV Camocim que tinha um calado de 2,5m e 550ton em deslocamento (FIGURA 15). O Aratanha tinha um calado de 4m e navegava com um peso de 4.000 toneladas, chegando a uma profundidade de calado igual a 5m e entrou na barra de Camocim com orientação de um práctico que conhecia o local, numa maré de sizígia ou “maré de lua” (PILDAS, 2003).

Outros fatos históricos cercam o porto de Camocim política e economicamente. Tais fatos fizeram com que navios de grande porte não entrassem na barra de Camocim antes de 1935, quando o Porto estava realmente aquecido comercialmente. Esse “boicote” só terminou quando surgiu a Carta Náutica da DHN em 1945, e logo depois, o Porto perdeu sua funcionalidade em razão dos ciclos econômicos e fatores políticos externos que arrefeceram a exportação de produto.

Figura 15 – Navios ancorados no Porto de Camocim



Fonte: Henrique Leão, fotógrafo (2010).  
Nota: a. NM/CV Camocim; b. Navio Aratanha.

O estuário do rio Coreaú encontra-se em um vale encaixado e seu sistema possui mecanismos de modelagem de relevo.

A profundademédia do estuário no ano de 2012 é de 3,31 m. As maiores profundidades foram observadas na desembocadura com máximas de 19 m.

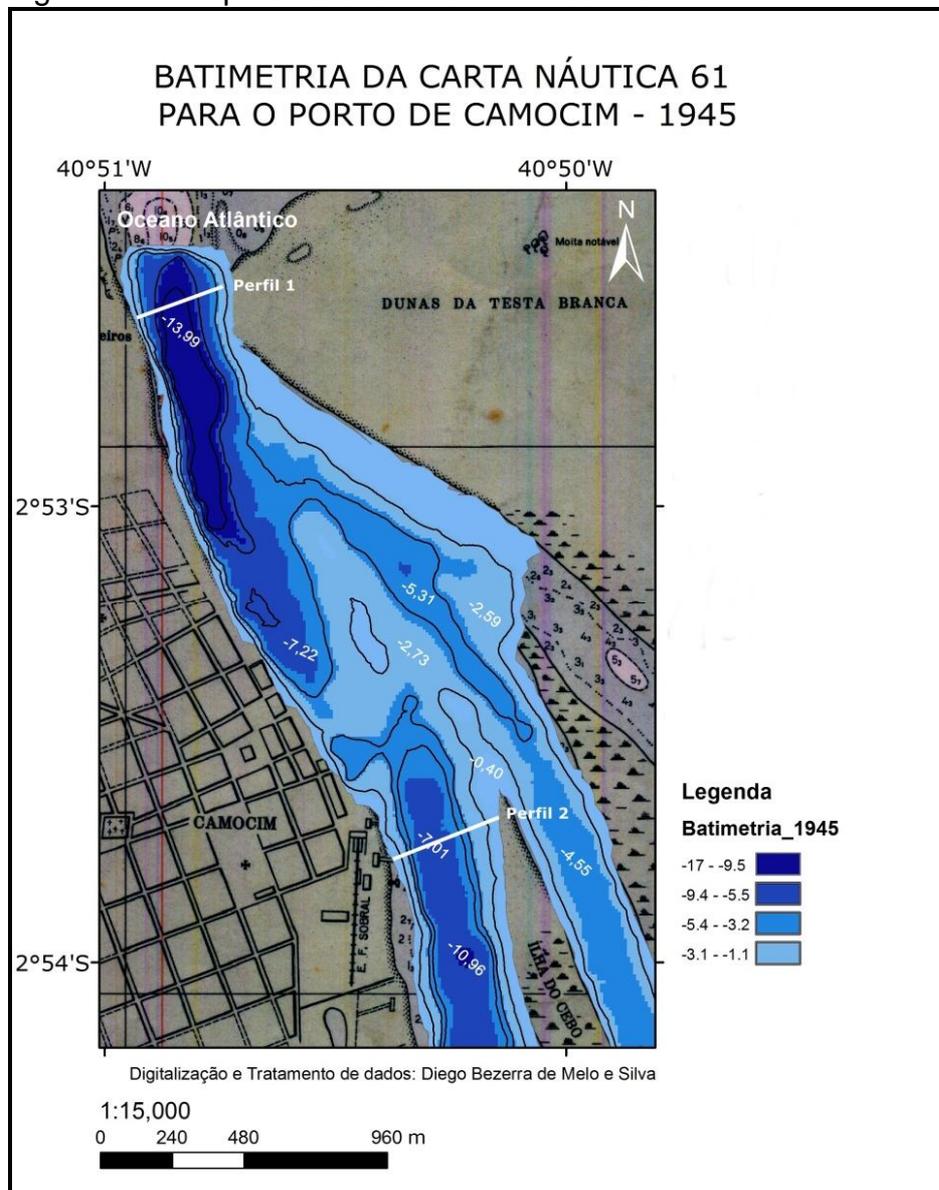
O canal principal tem características meandranes com bancos de areias no seu interior. Esse padrão de canais entrelaçados reflete um padrão típico de áreas com intermitência fluvial (CAVALCANTE, 2012).

Em 1945, a profundidade média na desembocadura era de 3,03 com profundidade de 17 m, fato que indicativo de aprofundamento do canal, provavelmente causado pelo escavamento decorrente da migração lateral do *spit* arenoso da margem direita para a esquerda (FIGURA 16). A presença das rochas

da Formação Camocim (MORAIS,2000) impedem o deslocamento lateral, controlando a margem esquerda do estuário e exercem a influência na hidrodinâmica, contribuindo para o aumento do fluxo.

O mapa a seguir foi digitalizado e confeccionado por Silva(2014), durante o trabalho realizado na mesma área de estudo, no mesmo período, sendo modificado pela autora desta tese com a localização dos perfis e limites de profundidades escolhidas para melhor representação desses perfis quando relacionados com o os perfis do ano de 2012 (FIGURA 16).

Figura 16 – Mapa Batimétrico da Carta Nº 61 de 1945



Fonte: Melo e Silva (2014). Modificado pela autora.

A batimetria do Coreaú foi dividida em áreas para melhor compreensão dos valores e da localização destes. Realizada durante marés de sizígia em virtude de condições de navegação em alguns trechos, a batimetria média difere nas distintas áreas em decorrência do próprio relevo do fundo associado ao processo de sedimentação do local e formação de ilhas e bancos de areia dentro do estuário.

Na área 01, localizada entre a desembocadura do estuário até o limite inferior mais a montante da Ilha Trindade, a profundidade varia de dois a sete metros com um furo de 15 a 19 metros próximo a desembocadura, na interface com o Oceano Atlântico.

A profundidade na área 2 varia de dois a sete metros. Neste setor observam-se ilhas com uma grande expressividade em área, como a Ilha Grande, que tem aproximadamente 940m<sup>2</sup> e favorece a formação de bancos arenosos no canal navegável do estuário localizado próximo à margem direita. Este setor apresenta o maior adensamento de viveiros de carcinicultura. No trabalho de Godoy (2013) foram estimados para o estuário do rio Jaguaribe 13.475 toneladas/ano de sedimentos produzidos por viveiros de camarão.

A área 03, que inicia numa distância de 2,15km ao sul da ilha Grande no sentido mais a montante do estuário, abrange uma distância de 8,5km ficando bem próxima à cidade de Granja com profundidade variando de valores inferiores a 0,5m a 4m. Vale ressaltar que esses valores são calibrados a cota de baixa-mar de sizígia (FIGURA 17).

Figura 17 – Mapas batimétricos do rio Coreaú  
 Continua

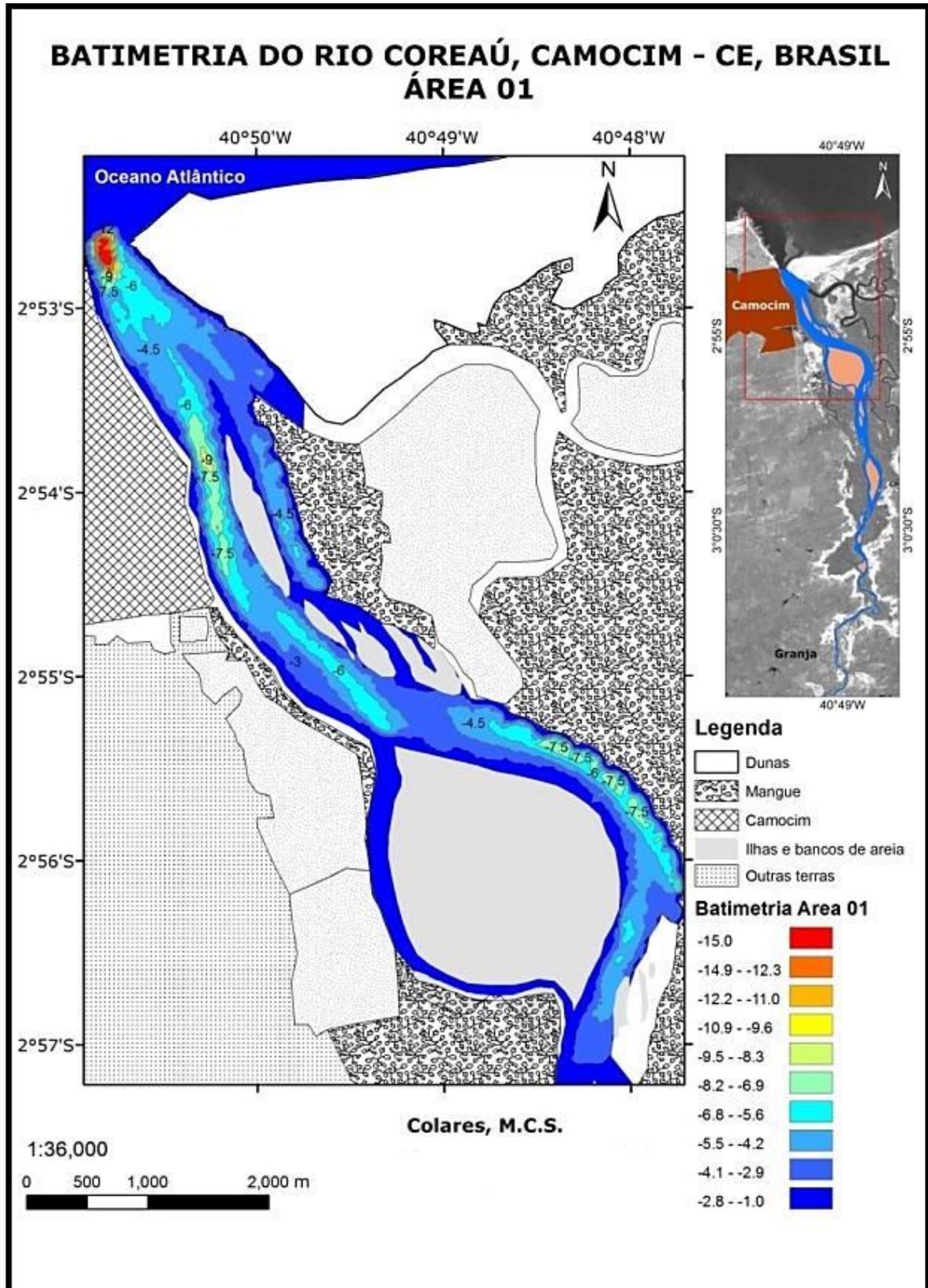


Figura 17 – Mapas batimétricos do rio Coreaú  
 Continuação

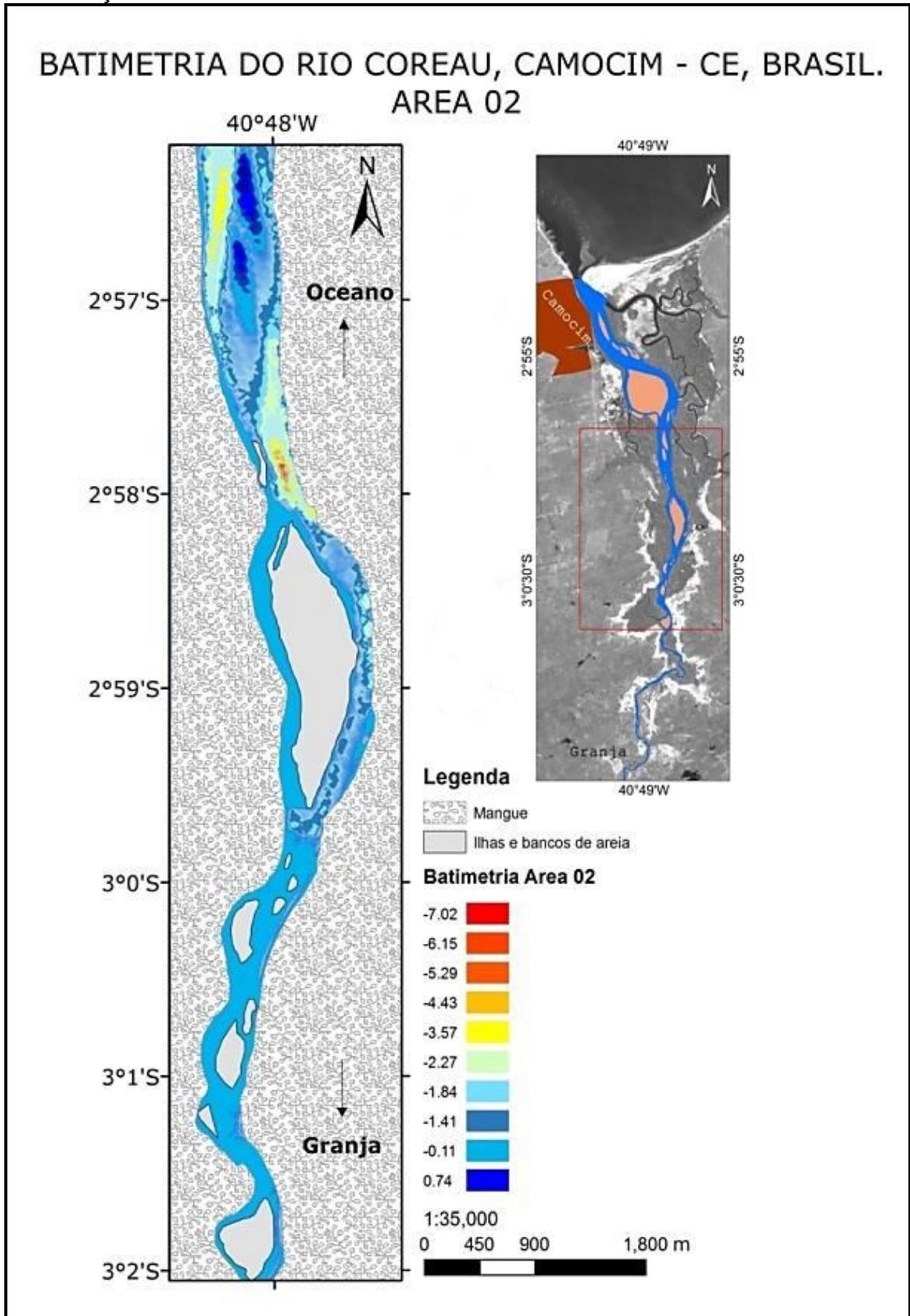
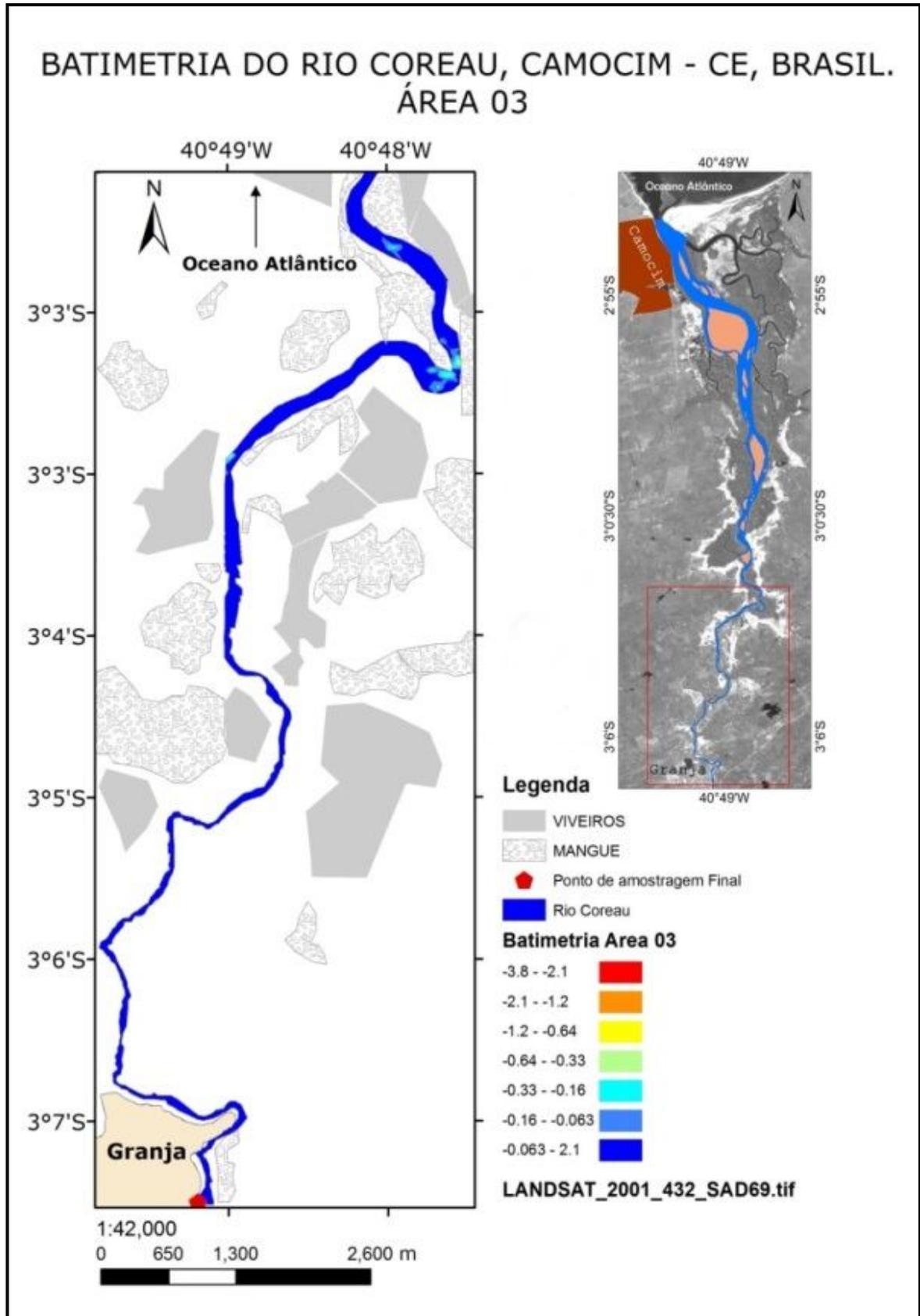


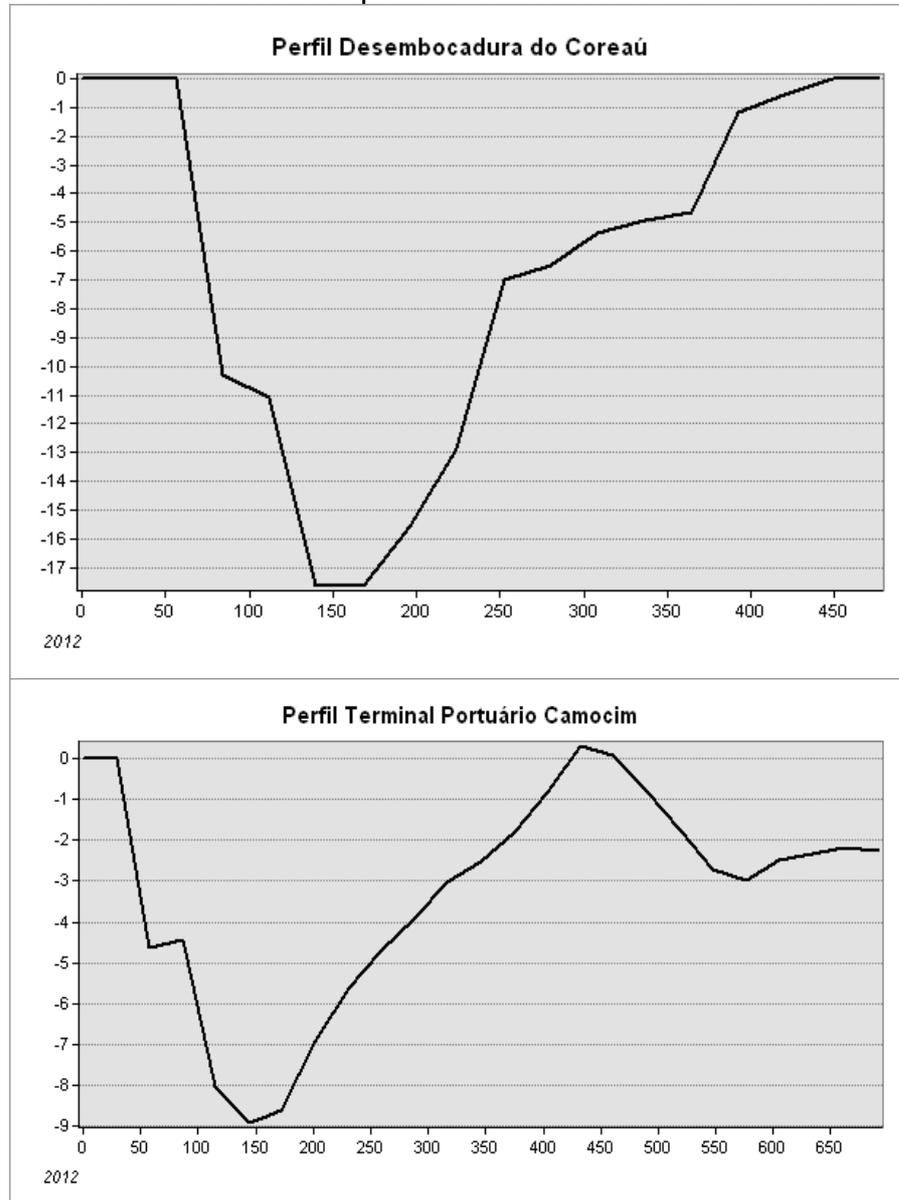
Figura 17 – Mapas batimétricos do rio Coreau  
Conclusão



Fonte: A autora.

A largura do canal varia ao longo do perfil longitudinal do Rio, com máxima observada no Terminal Portuário de Camocim, aproximadamente 650m. Na desembocadura, no início da cidade de Camocim, a largura do canal é de 450 m. O canal principal tem a forma de vale em “V”, favorecendo o aumento das correntes e manutenção do fluxo. A margem direita é escarpada e controlada pelas rochas ali existentes, que serviu de substrato para a sustentação do muro que compõe a orla. A margem esquerda recebe contribuições de formações arenosas provenientes do transporte eólico de sedimentos e depositados pela corrente de deriva litorânea (GRÁFICO 3).

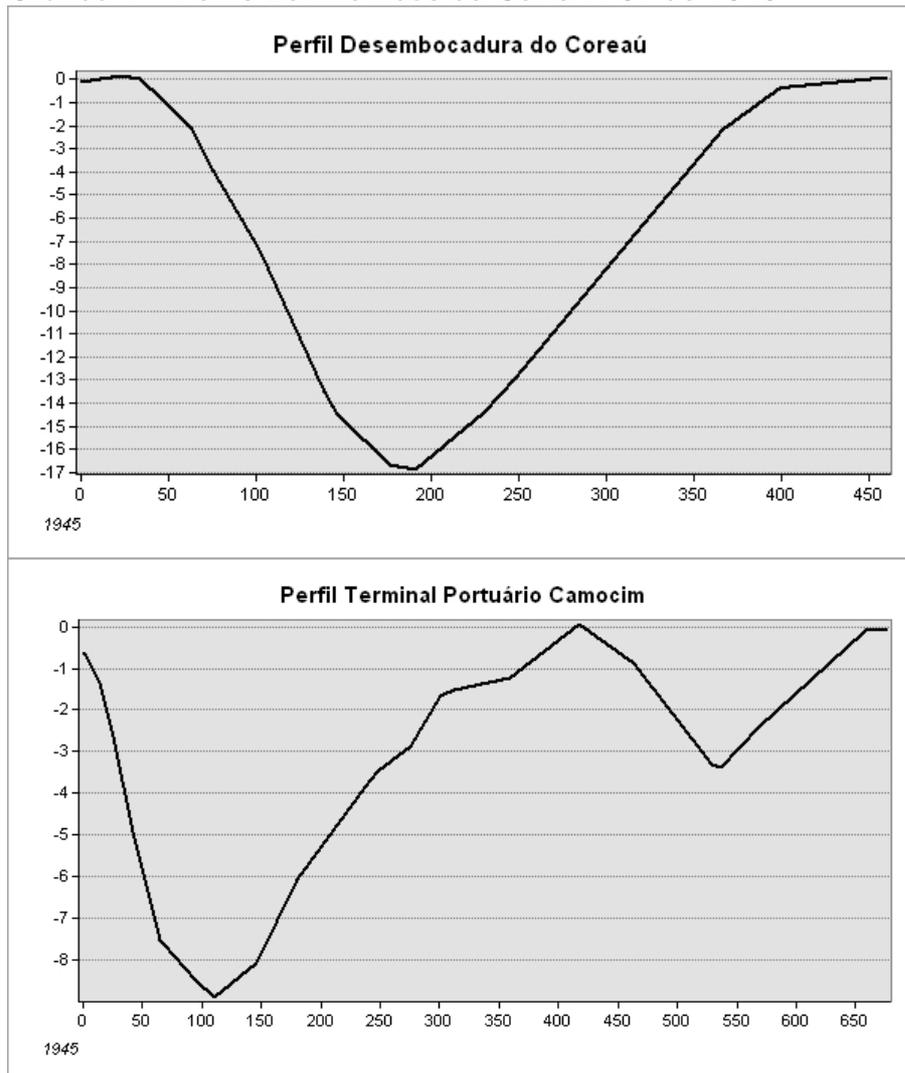
Gráfico 3 – Gráficos dos perfis batimétricos da área 01 de 2012



Fonte: Batimetria de 2012 *in situ* e autora.

Ao se comparar as batimetrias com o intervalo temporal de 67 anos, observa-se que a mobilidade lateral do canal na desembocadura e no terminal portuário foi de aproximadamente 50m, com taxa anual de cerca de 0,74 m/ano (GRÁFICO 4). Essa taxa é reduzida ao se comparar as obtidas no estuário dos rios Malcozinhado e Curú, com valores na ordem de 2 m/ano (PINHEIRO, 2003).

Gráfico 4 – Perfis Batimétricos da Carta N°61 de 1945



Fonte: Carta Náutica N° 61 de 1945 digitalizada por Silva (2013).

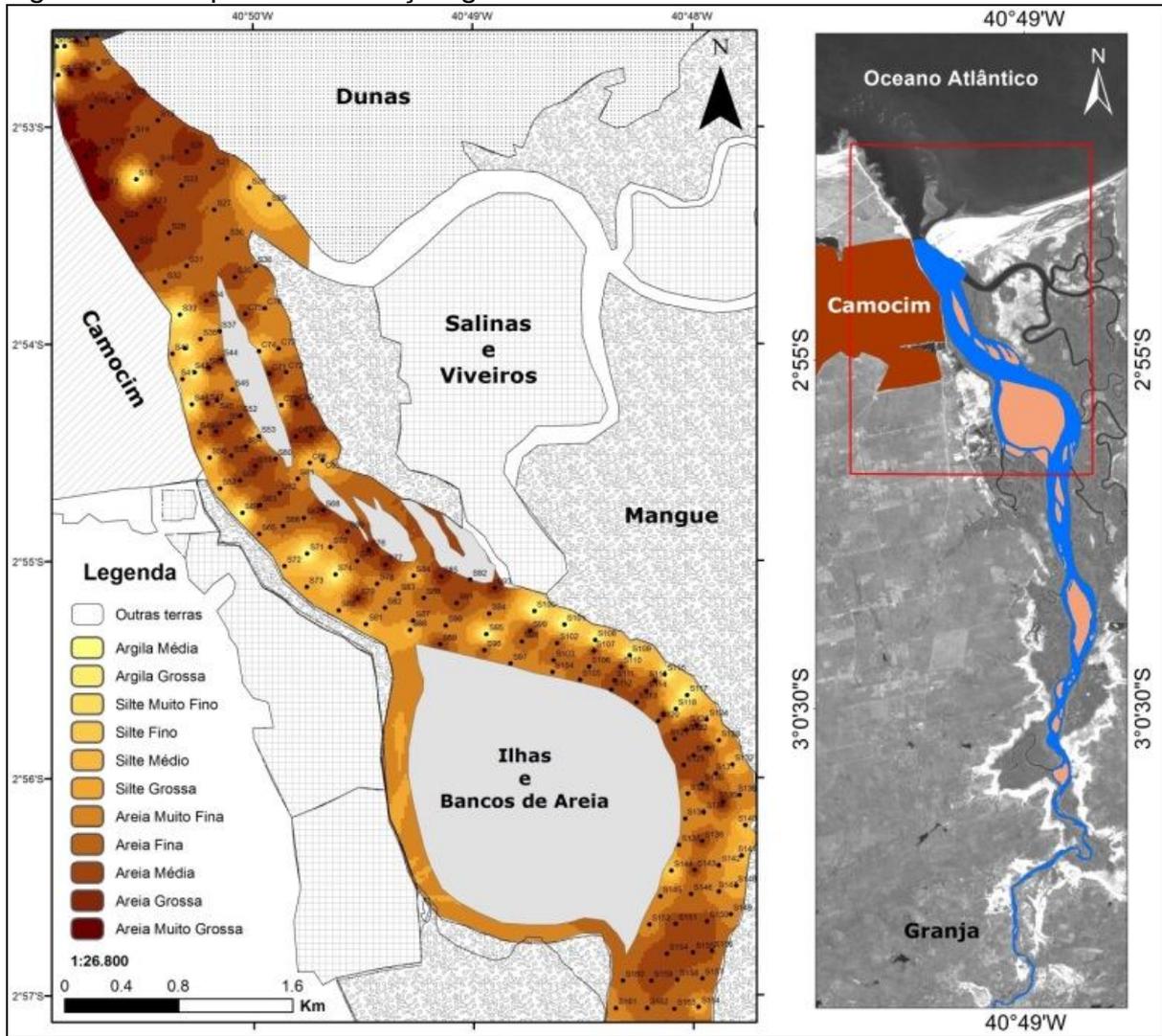
Considerando que os perfis transversais foram traçados no mesmo ponto nos dois mapas batimétricos, existe diferença na declividade dos dois perfis, tanto na desembocadura quanto no perfil do Terminal Portuário. Acredita-se que, além do controle das margens, as rochas ali existentes controlam a dinâmica de sedimentos de fundo, a exemplo da aceleração do fluxo pela alta impermeabilidade e no fornecimento de material de maior granulometria.

### **5.1.2 Sedimentologia**

No estuário, predominam as areias quartzosas de granulometria média. As areias muito grossas estão concentradas na margem direita da desembocadura, em associação aos fragmentos das rochas da Formação Camocim. Os depósitos da Formação Camocim são caracterizados por um ortoconglomerado grosseiro, oligomítico de elevada maturidade, cimentado por material laterítico silicoferruginoso de cores marrons, castanhos e vermelhos, extremamente duros (MORAIS, 2000). Segundo o autor (*op.cit.*), na desembocadura do estuário, afloram na forma de falésias e são observados contatos bruscos dos conglomerados que compõem essa Formação, passando a um pacote superior, composto de areias finas com material argiloso inconsolidado não estratificado.

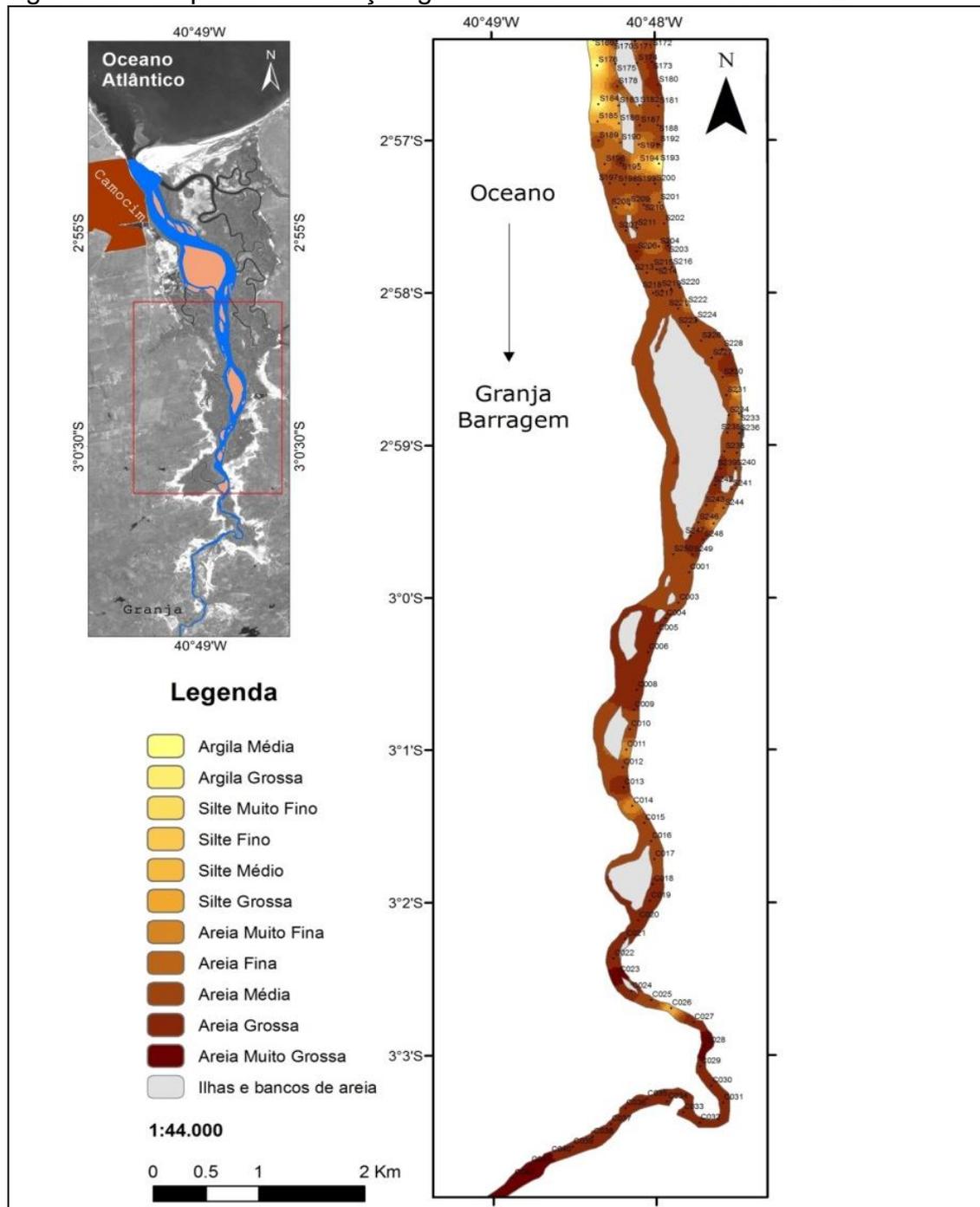
Os sedimentos mais finos estão concentrados nas margens sendo suporte a instalação dos ecossistemas de manguezais. Isso acontece, provavelmente, em decorrência da colmatação desses sedimentos ao longo do tempo. As areias médias estão concentradas no canal principal do estuário. Na área 2, predominam as areias médias, e as maiores ocorrências de areias finas estão associadas às áreas de descarga dos viveiros de camarão (FIGURAS 18; 19).

Figura 18 – Mapa de distribuição granulométrica do Coreaú: área 01



Fonte: A autora.

Figura 19 – Mapa de distribuição granulométrica do Coreaú: área 02

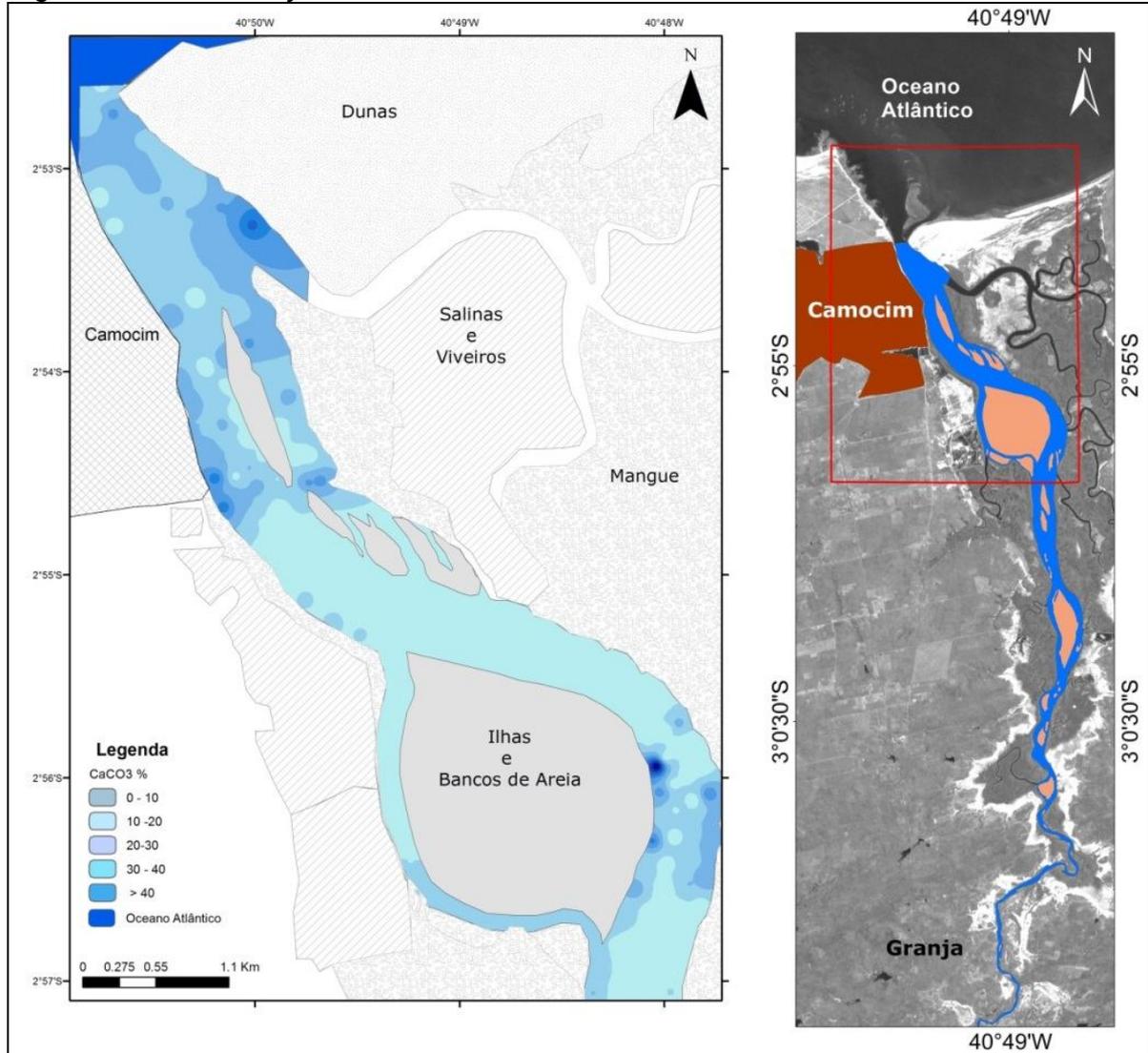


Fonte: A autora.

Os teores de Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) indicam a influência da sedimentação marinha nos sistemas transicionais. A concentração média foi de 40%, com amostras circunstanciais de 93%, nas áreas próximas aos viveiros de carcinicultura. De acordo com a distribuição de carbonato de cálcio, variou de 5% a 40% nas duas áreas, ocorrendo alterações acima destes valores apenas em regiões pontuais onde se encontram a atividade de carcinicultura ativa. Os resultados

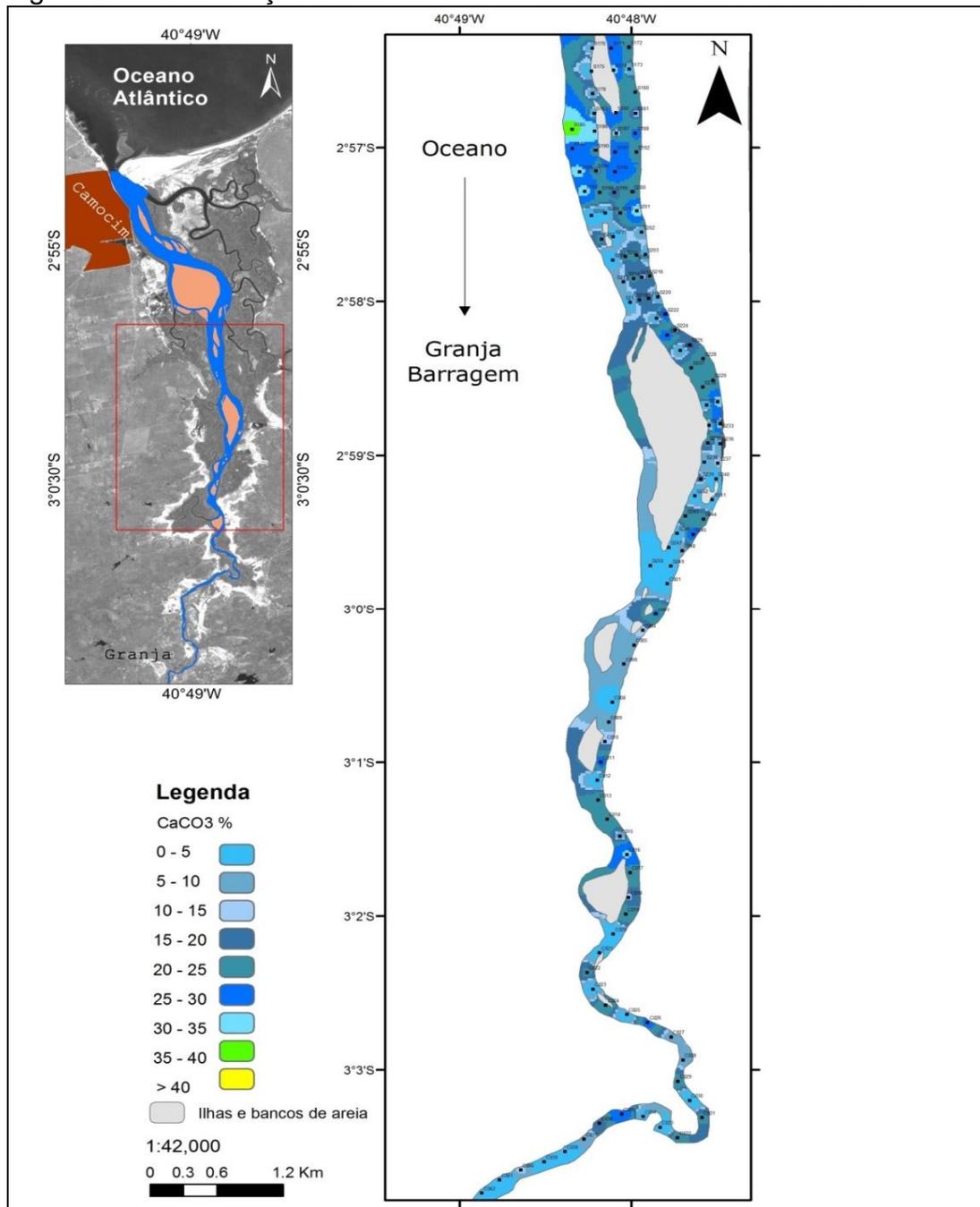
encontrados indicam valores superiores aos achados nos estuários dos rios Pacoti e Pirangi por Silva, 2006, cujos valores variaram de 17 a 24% (FIGURAS 20; 21).

Figura 20 – Distribuição de carbonato de cálcio no Coreauá: área 01



Fonte: A autora

Figura 21 – Distribuição de carbonato de cálcio no Coreaú: área 02

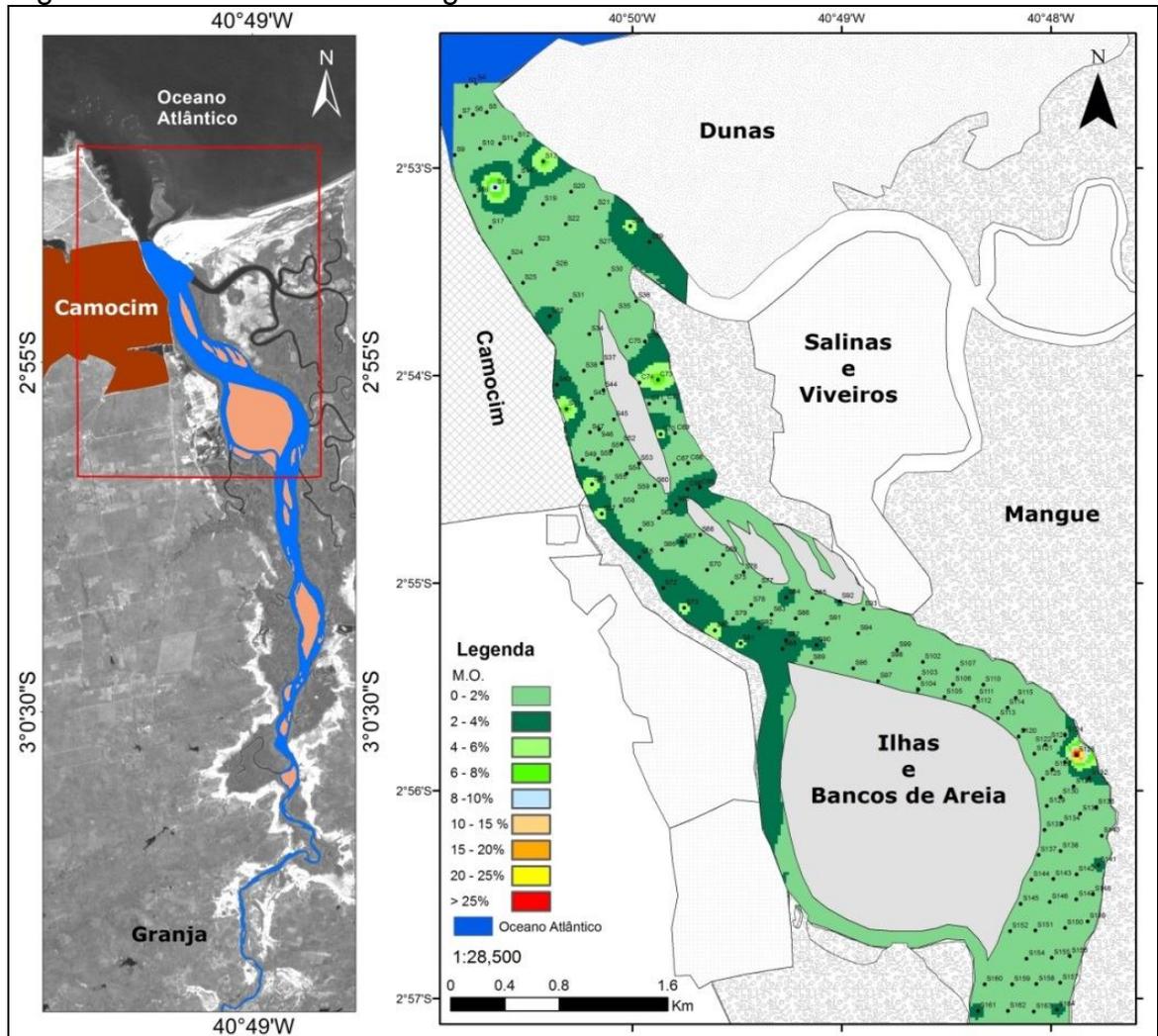


Fonte: A autora.

O teor de matéria orgânica encontrado nas amostras coletadas teve valor médio em torno de 3.49% para todo o estuário. Existem, no entanto, intervalos de valores maiores em determinados pontos (FIGURAS 22; 23), de acordo com a cobertura das margens e alguns tipos de usos. A matéria orgânica determinada para o estuário do Coreaú exprime um comportamento uniforme, também, havendo exceções nas áreas onde a margem é extremamente ocupada, habitada ou com

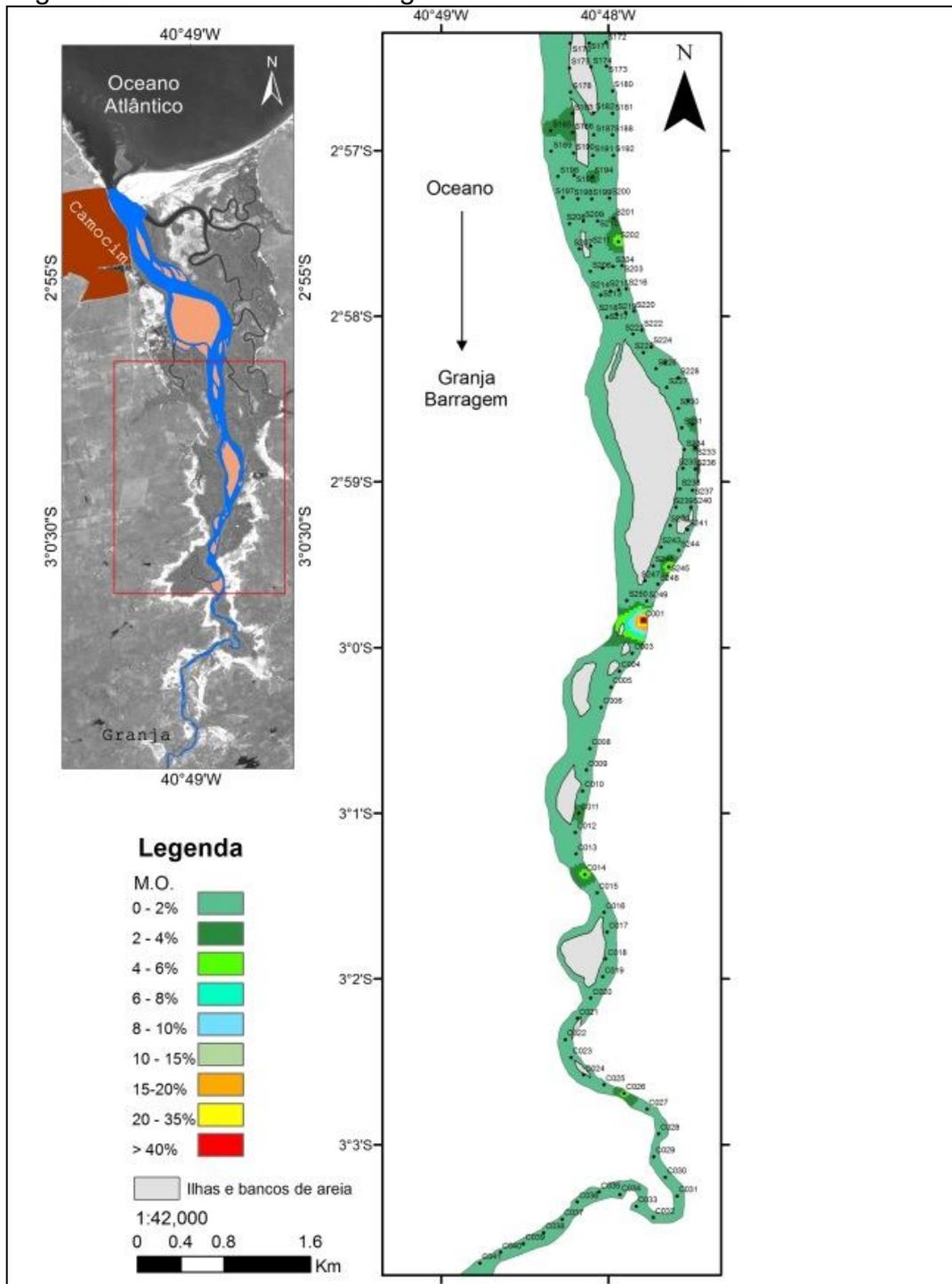
alguma atividade agropecuária, chegando a valores de 40%. As maiores concentrações foram observadas nas proximidades dos viveiros de camarão.

Figura 22 – Teor de matéria orgânica no Coreauá: área 01



Fonte: A autora.

Figura 23 – Teor de matéria orgânica no Coreaú: área 02



Fonte: A autora.

Nota-se que a distribuição sedimentar do Coreaú mostra um estuário com forte influência marinha ao longo de todo o seu curso, diferentemente do modelo proposto por Dalrymple *et al.* (1992), que o segmenta em três compartimentos. Esse parece ser um padrão de sedimentação dos estuários controlados pela semiaridez (CAVALCANTE, 2012). A ocorrência das argilas nos sedimentos de fundo é maior

nas margens e setor mais ao sul, limite da floclação e influência do aporte continental. O padrão encontrado nos sedimentos de fundo corroboram o modelo evolutivo proposto em Rodrigues (2014), de que a contribuição marinha foi o principal agente de preenchimento do vale estuarino. Nesse sentido, é possível aferir que os processos hoje observados têm relação maior com o histórico de semiaridez do que com os impactos antropogênicos associados aos barramentos e às alterações da cobertura da terra, com características mais pontuais do que regionais.

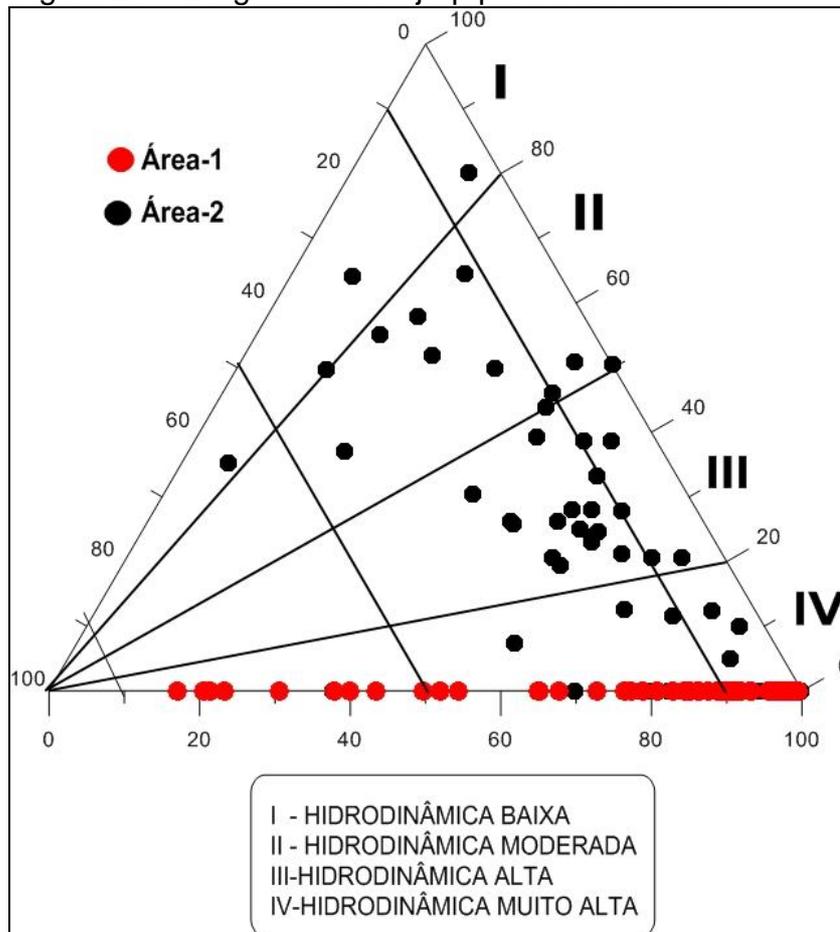
## **5.2 Mecanismos de transporte de sedimentos**

A hidrodinâmica e a capacidade de transporte de sedimentos do estuário do Coreaú foram inferidas aqui, utilizando-se a distribuição sedimentar do diagrama de Pejrup(1988), modificada, levando-se em consideração os fatores de profundidade e padrão granulométrico das amostras coletas ao longo do curso do Rio.

O diagrama de Pejrup(1988) é um dos diagramas triangulares muito utilizados para determinar hidrodinâmica de estuários. Baseando-se na proporção de textura-chave como silte, argila, e areia, facilita a interpretação de dados amostrais e sua distribuição com tendência a aspectos de hidrodinâmica do ambiente fluvial.

O diagrama de Pejrup (FIGURA 24) foi elaborado com suporte no processamento granulométrico das amostras que as separou por tamanho de grão e percentual de areia, silte e argila, possibilitando a determinação do regime hidrodinâmico do Coreaú.

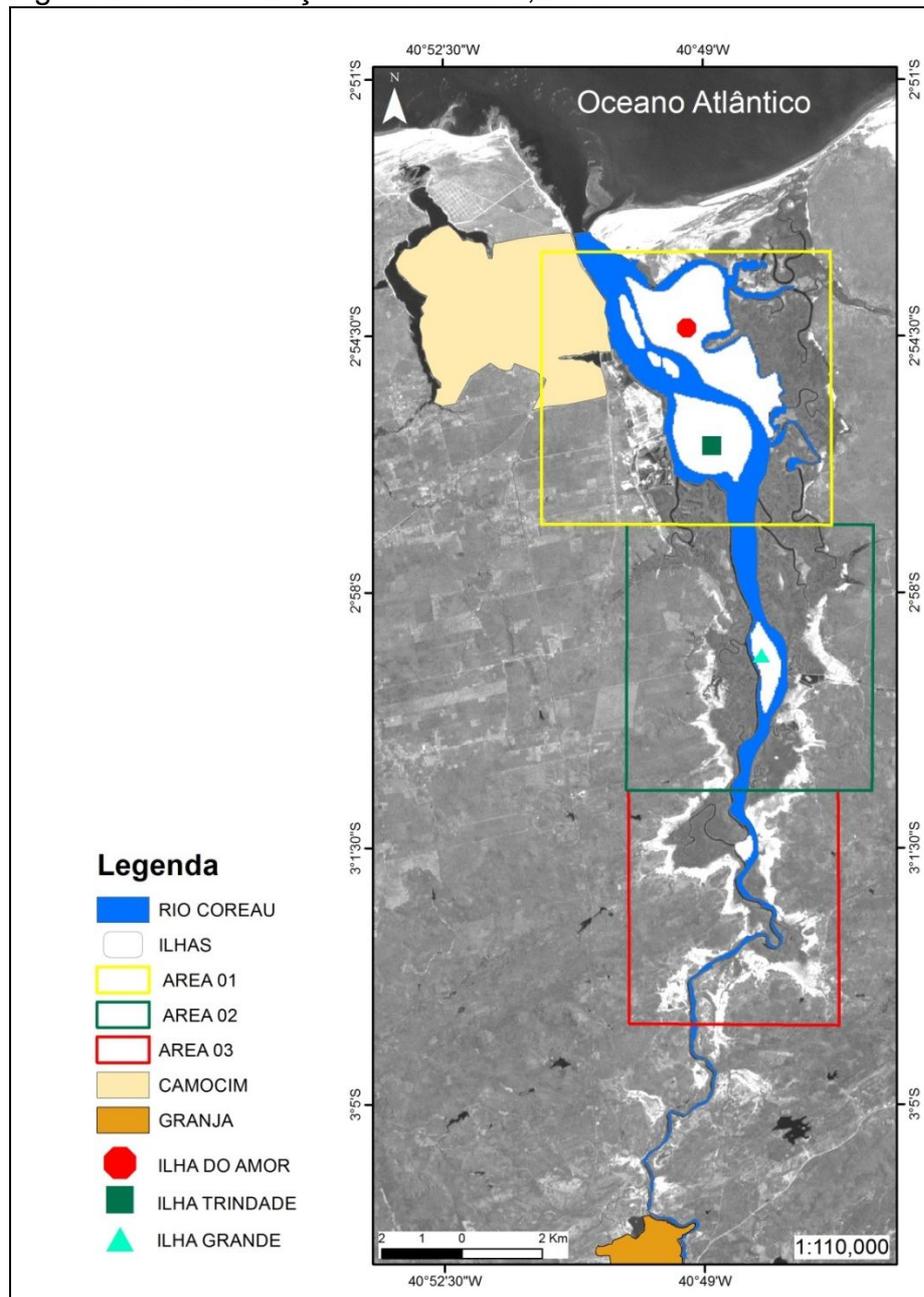
Figura 24 – Diagrama de Pejrup para o rio Coreaú



Fonte: Pinheiro (2014).

A área estudada foi dividida em três compartimentos: área 01, área 02 e área 03, para melhor visualização e identificação em mapas temáticos e cartogramas confeccionados com enfoque em dados obtidos durante o trabalho (FIGURA 25).

Figura 25 – Localização das áreas 1,2 e 3

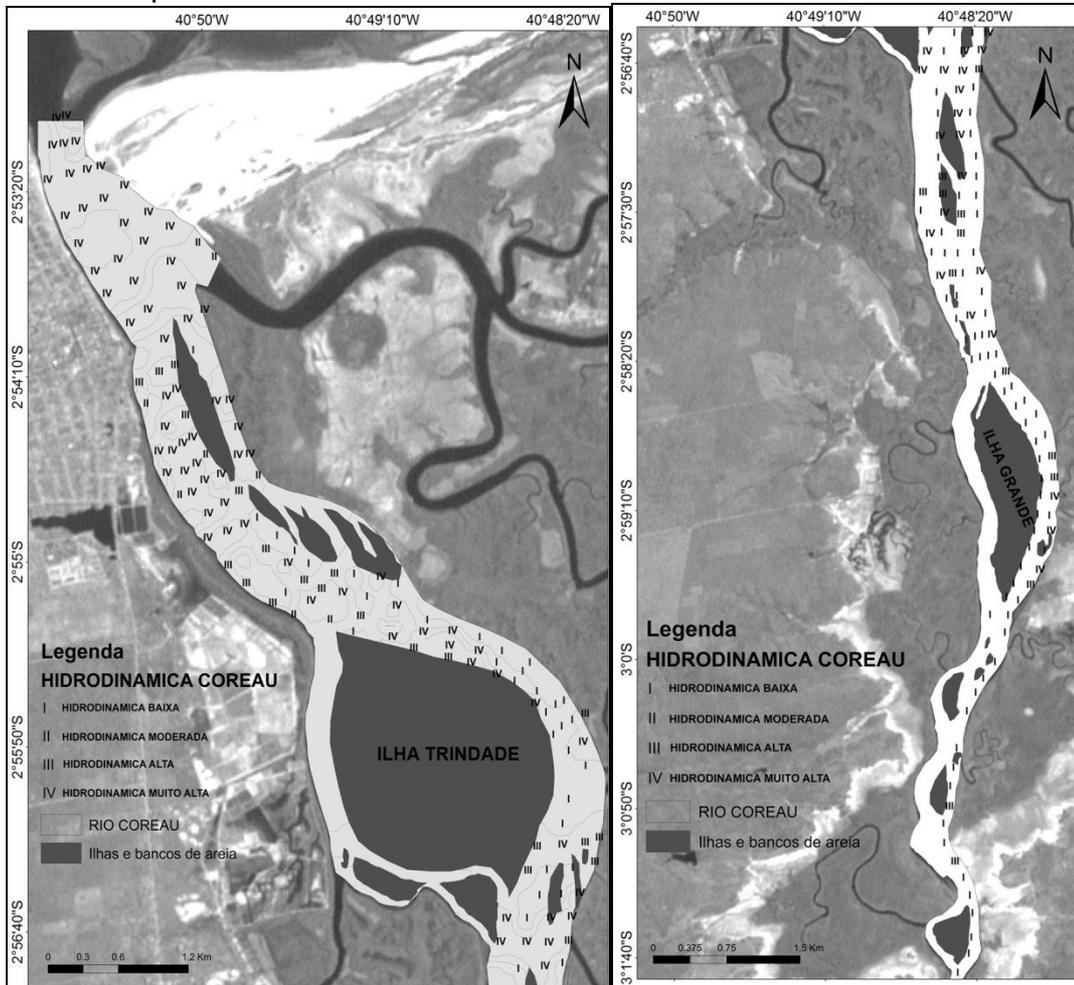


Fonte: A autora.

A hidrodinâmica do estuário balizada pelo diagrama de Pejrup apresentou uma tendência de muito alta a baixa na área 01 com dominância de uma hidrodinâmica muito alta na desembocadura do rio em virtude de percentual maior de sedimentos mais grossos associados com uma profundidade maior, sob influência do clima de ondas (FIGURA 26). Já na área 02, destaca-se um quadro de dois tipos de hidrodinâmica: uma zona de hidrodinâmica muito alta ao final da Ilha Trindade com de sedimentos mais lamosos (silte e argila) associados a baixa profundidade e outra zona de hidrodinâmica baixa, iniciando na Ilha Grande até o fim da área 2 com

presença de sedimentos mais arenosos, profundidade baixa e submetidos ao fluxo de marés e ao sistema fluvial típico do semiárido (FIGURA 26).

Figura 26 – Hidrodinâmica do rio Coreau segundo o diagrama de Pejrup para as áreas 1 e 2 respectivamente



Fonte: A autora.

Considerando que o fluxo fluvial é restrito a praticamente três meses do ano e com valores que oscilam na média e abaixo da média, exceto nos anos de *La Nina*, as marés controlam os processos advectivos e de sedimentação no estuário do Coreau. A vazão do rio Coreau está condicionada ao regime de chuvas intensas, visto que a construção da barragem Lima Brandão, localizada no Município de Granja, além de perenizar, limita seu volume e deixa o curso do rio, a jusante, mais lento e, conseqüentemente subordinado ao regime de marés da região.

Vale ressaltar, o fato de que os ventos chegam ao litoral de Camocim, predominantemente, da direção NE, com uma intensidade média de 16,3m/s no período de estiagem medidos na duna local e com intensidade média de 10,5m/s

medidos no *spit*, segundo Camelo, 2013, que concluiu também que o transporte eólico de sedimentos na desembocadura do estuário do Coreaú é influenciado por fatores climáticos. Nesse sentido, os ventos assumem papel importante na difusão de partículas sedimentares no interior do estuário. O mesmo comportamento foi observado nos estuários dos rios Malcozinhado e Timonha (DIAS, 2005; PINHEIRO, 2003).

### **5.3 Evolução do uso e cobertura da terra**

A ocupação das margens do rio Coreaú foi condicionada ao crescimento da cidade de Camocim, aliada ao desenvolvimento da carcinicultura no local. Trabalhos como o de Rodrigues (2014), mostram esse crescimento de áreas de cultivo, adentrando o manguezal, ecossistema principal da área de estudo e primordial para conservação das margens do Rio, assim como, a retenção de sedimentos escoados por águas de chuva e também um obstáculo para a erosão dessas margens. De acordo com os dados apresentados, aqui houve um crescimento da área urbana em detrimento de áreas alagadas naturais mapeadas desde o ano de 1975 até 2012.

Já a economia da área de estudo gravita à órbita da pesca e de empreendimentos imobiliários em expansão, tanto às margens do Rio como nas dunas e falésias da desembocadura do Coreaú. A atividade imobiliária não considera o processo natural de erosão do ambiente, chegando a cercar terrenos na parte superior das falésias localizadas na margem esquerda da desembocadura, sem nenhum impedimento ou controle ambiental, para a identificação das possíveis interferências na cobertura da terra e suas repercussões na morfologia e sedimentologia.

A área 1, destacada anteriormente (FIGURA 27), abrange o espaço compreendido desde a foz do Coreaú até depois da área urbana de Camocim, tendo como limite final a ilha da Trindade. Com ocupação urbana muito acentuada, essa área mostra principalmente o desaparecimento de feições naturais como pequenos Alagados, que sumiram para dar lugar à urbanização de Camocim, a cidade costeira do rio Coreaú. As ilhas formadas ao longo do estuário dão suporte à divisão dessas áreas, como a Ilha de Trindade, no começo do estuário e da área 01.

Figura 27 – Cartogramas de uso e cobertura do Coreaú: área 01 e 02  
 Continua

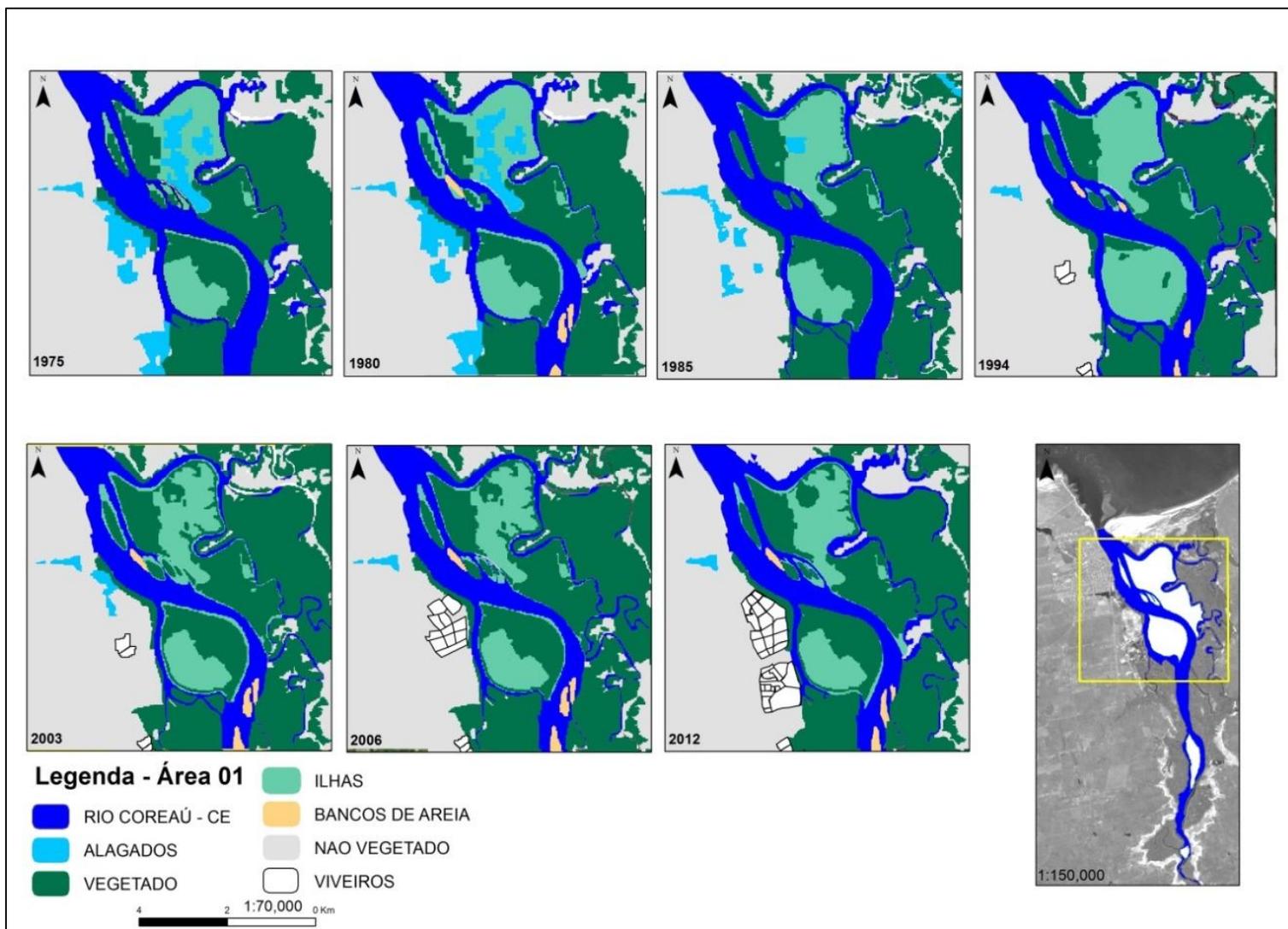
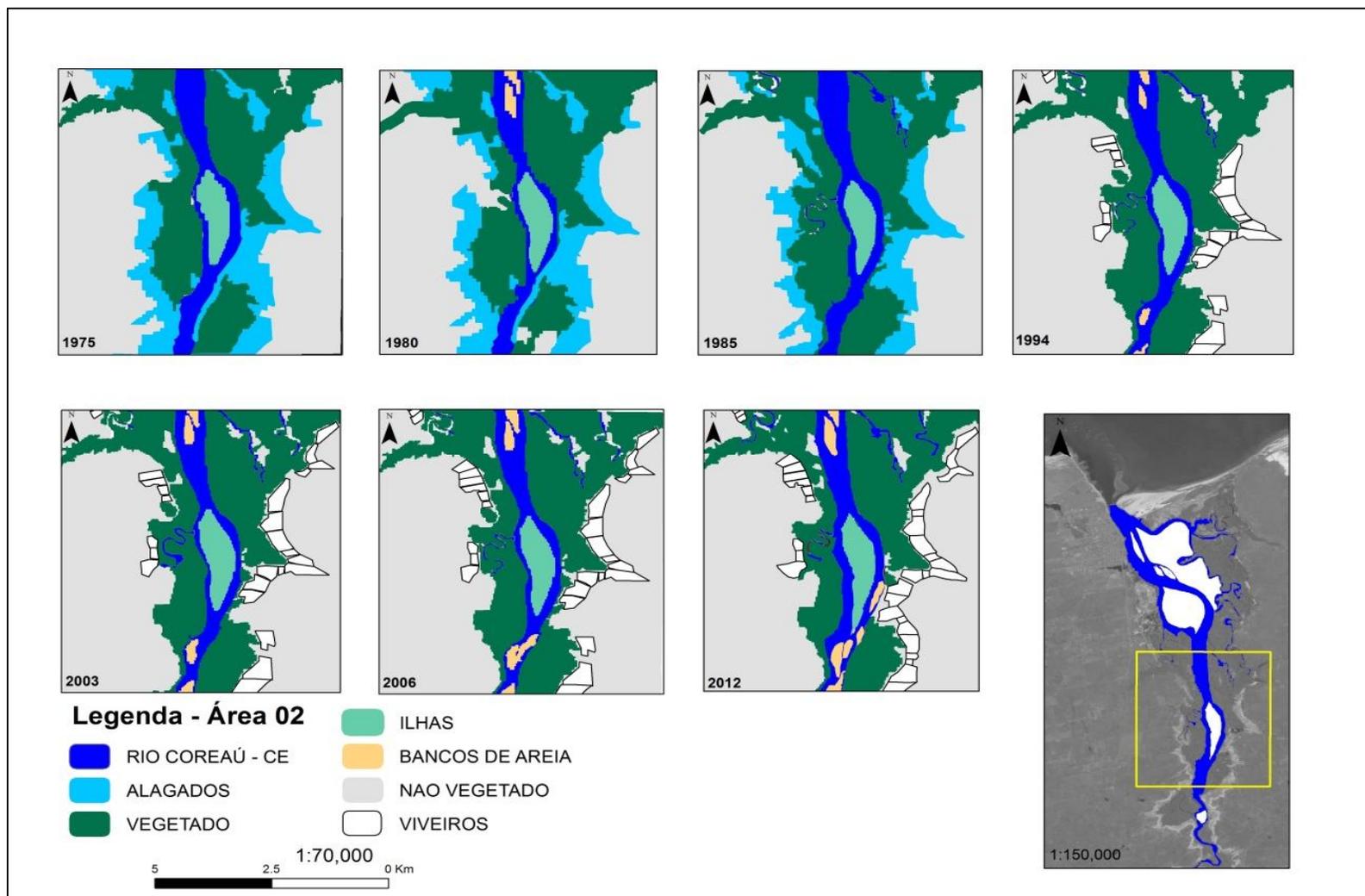


Figura 27 – Cartogramas de Uso e Cobertura do Coreaú: área 01 e 02  
Conclusão

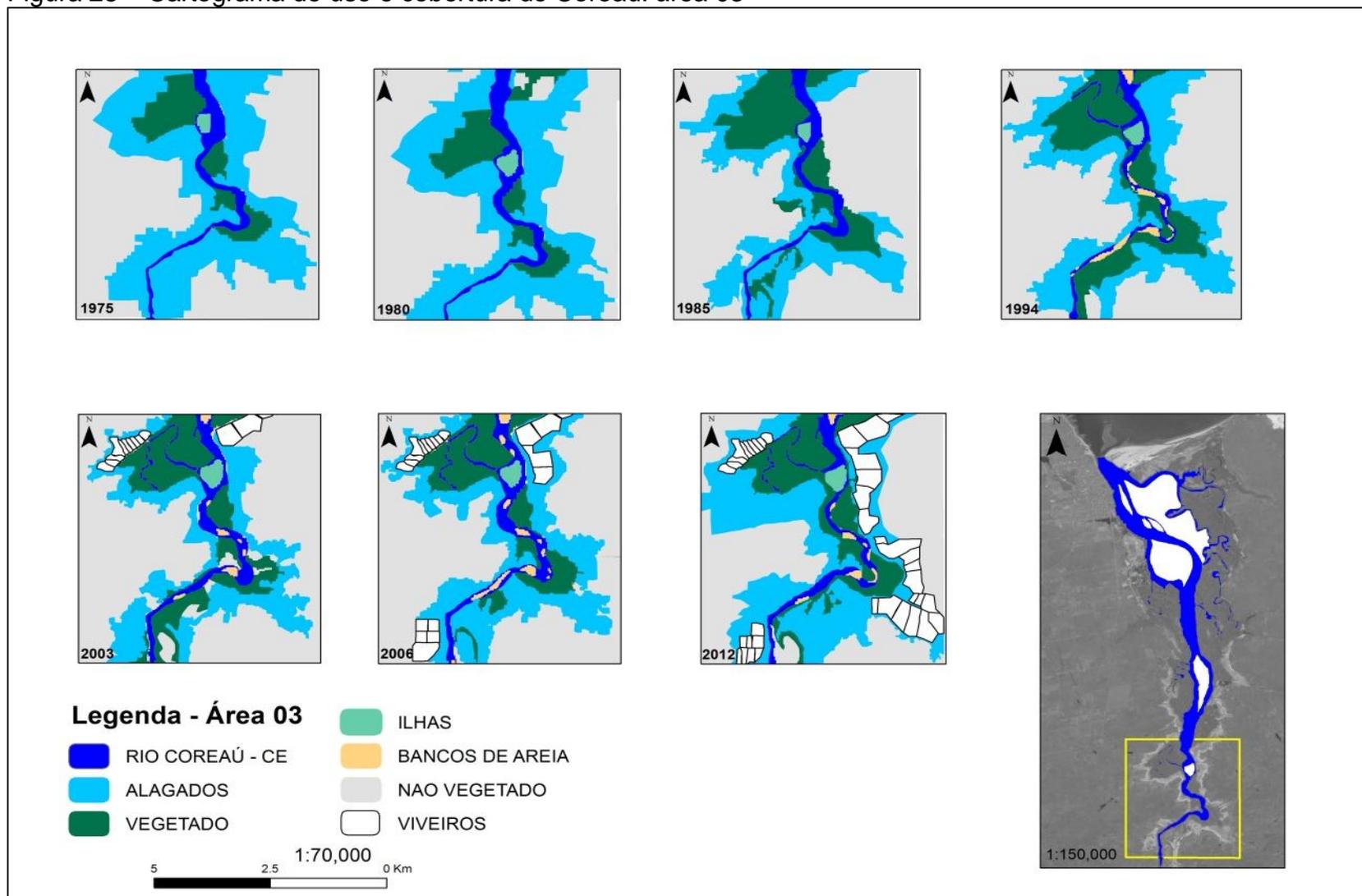


Fonte: A autora.

A área 02, é o espaço compreendido desde o final da ilha da Trindade até o limite de coordenadas  $3^{\circ} 0' 30''$  S (dois pontos),  $40^{\circ} 52' 30''$ W e  $40^{\circ} 45' 30''$  W, formando o quadrado, depois da ilha Grande. Essa área caracteriza-se, principalmente, pelo aparecimentos de viveiros de carcinicultura nas margens do rio e surgimento de bancos de areia, já que todas as imagens estão no mesmo período de amplitude de maré.

A área 03 está situada no limite de coordenadas da área 02 até o ponto final de batimetria realizada, nas coordenadas  $3^{\circ} 3' 49''$ S e  $40^{\circ} 49' 10''$ W (FIGURA 28). Essa área caracteriza-se pelo surgimento de bancos de areia ao longo do canal cada vez maiores, impossibilitando sua navegação contínua, assim como a constante expansão de viveiros de carcinicultura.

Figura 28 – Cartograma de uso e cobertura do Coreaú: área 03



Fonte: A autora.

A tabela 2 mostra a evolução de feições observadas no rio Coreaú durante uma série anual de imagens escolhidas em conformidade do horário de passagem do satélite com a tabela de marés para evitar possíveis erros de amplitude de marés no local estudado, com o cuidado de verificar os horários de marés baixas visando a ressaltar as estruturas dentro e nas margens do rio e com os valores de precipitação e vazão anuais fornecidos pela ANA, relacionando esse período de precipitação com fenômenos meteorológicos globais (*El Niño* e *La Niña*).

Leia-se. *Área total Alagados* como feição natural preenchida de água e cercada de terra em área urbana e destacada na imagem desde o ano de 1975; *ilhas* como porções de terra cercadas de água dentro do estuário e que se apresentam como barreiras naturais de aprisionamento de sedimentos e/ou redutoras de fluxo desses em virtude da baixa profundidade ou proximidade com as margens, dependendo do local onde se situa e da maré em questão; *Não Vegetado* é o destaque na imagem diferente das áreas vegetadas, incluindo também as salinas do estuário ativadas ou não; *Bancos de Areia* são pequenas porções de terra que se formam no meio do estuário por aprisionamento de sedimentos em decorrência de feições naturais dentro do rio e/ou alguma consequência de descarga de sedimento para dentro do rio fazendo com esses bancos formem barreiras naturais à navegação; *Área Vegetado* seja a expressão lida como tudo o que se destaca na imagem como “vegetação” de acordo com combinação de bandas da imagem de satélite utilizada; *Área de Viveiros* como os quadrados e retângulos preenchidos de água e normalmente cercados de área vegetada situados às margens do rio Coreaú.

Tabela 2 – Evolução de feições expostas do Coreau (Km<sup>2</sup>)

Ano	Área total Alagados (Feição natural)	Áreatotal Ilhas (Feição natural)	Área total Não Vegetado	Área total Bancos de Areia (Feição natural)	Área total Vegetado	Área total Viveiros (identificados por imagem)
1975	1,64	10,61	60,22		30,53	-
1980	0,62	10,63	59,61	0,49	27,77	-
1985	0,44	10,29	58,41	-	35,67	-
1994	0,12	10,72	61,48	0,73	31,36	3,43
2003	0,32	10,86	70,07	0,81	34,44	3,72
2006	0,13	10,85	72,08	1,00	34,44	4,56
2012	0,11	10,62	62,67	1,04	33,16	9,96

Fonte: A autora.

### 5.3.1 Análise do uso e cobertura por ano mapeado

I. **1975** – A imagem utilizada aqui foi do tipo LANDSAT 1 - MSS, com resolução de 80m. Apesar da resolução ficou evidente uma grande quantidade de áreas alagadas ressaltadas pela combinação das bandas disponíveis (4,5,6 e 7), nos três setores(áreas) em foco.

II. **1980** – A imagem utilizada aqui foi a LANDSAT 2 – MSS, com resolução de 80m. Há uma diminuição das áreas alagadas nos três setores estudados e observa-se o surgimento de alguns bancos de areia. Apesar das bandas fornecidas serem as mesmas do LANDSAT 1, a troca entre os canais RGB possibilitou a visualização desse pequenos bancos de areia dentro do estuário no setor 1, ou área 1, de acordo com a legenda da figura 29.

III. **1985** – Nesse ano, já se inicia a observação por imagens do LANDSAT 5, com resolução de 30m. A amplitude de maré, no horário de aquisição da imagem, estava alta no valor de 2,5m. Isso deixou bem claro o limite das áreas vegetadas e não vegetadas, porém cobriu grande parte dos bancos de areia ressaltados nos anos seguintes. Ainda não se observam viveiros de carcinicultura nas margens. Há uma diminuição na área total de alagados. Esse fato coincide com o início do crescimento urbano de Camocim e especulação imobiliária do seu entorno(ASSIS,2012).

IV. **1994** – Também com uma considerável redução das áreas alagadas, chegando a 0,12km<sup>2</sup> de área total. Observa-se também aumento das áreas de carcinicultura no entorno do rio Coreau desde esse ano. Segundo o IBAMA -

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, o número de fazendas de carcinicultura no Coreaú até o ano de 2005 era de sete em fase de licenciamento regular e mais duas em fase de licenciamento irregular. Pela imagem LANDSAT 5, com resolução de 30m, observa-se que a área ocupada por esses empreendimentos começa a aumentar nesse ano coincidindo com a redução da área vegetada total para esse ano de 1994.

V. **2003 e 2006** – A imagem LANDSAT 5 TM na combinação das bandas 4,3,2 deixou evidente toda área vegetada, mostrando um aumento na área total desse “alvo” em  $3,08\text{km}^2$ , considerando que a área total não vegetada cresceu  $8,59\text{km}^2$ , a área total de carcinicultura também aumentou, podendo-se inferir que esse aumento coincidiu com o *boom* do cultivo de camarões no Brasil como um todo (ABCC, 2014). Não houve diferença na área total vegetada, talvez em virtude do pequeno intervalo temporal entre as duas imagens.

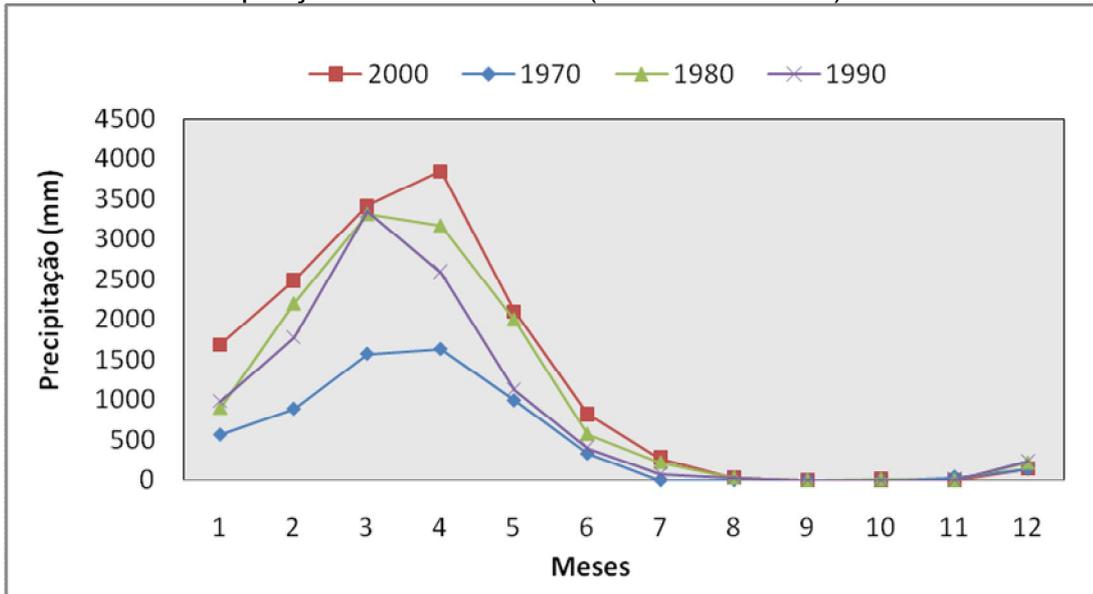
VI. **2012** – As imagens Quickbird e Worldview formaram um mosaico para abranger toda a área estudada, detalhando, em resolução de 15m, todos os alvos. Desse modo, observou-se um aumento da área de carcinicultura triplicada em relação ao valor encontrado em 2006. Conseqüentemente, o total de área vegetada diminuiu em  $9,47\text{km}^2$  e as áreas alagadas também diminuíram mais  $0,2\text{km}^2$  provavelmente em razão do aumento da especulação imobiliária na cidade de Camocim e seus arredores, onde se localizam esses alvos.

#### 5.4 Clima

No Ceará, as chuvas mais significativas iniciam-se em dezembro de cada ano e podem estender-se até junho ou julho, dependendo das condições oceânicas e atmosféricas atuantes. Em fevereiro de cada ano, inicia-se a chamada quadra chuvosa do Estado, que se estende até maio.

O gráfico 5 a seguir mostra a precipitação do rio Coreaú nos anos que tiveram um significado maior de intensidade ou não, para que seja possível estabelecer uma relação com os fenômenos de *El Niño* e *La Niña*, considerados neste trabalho como eventos de alta energia, para identificar as conseqüências na dinâmica do estuário (GRÁFICO 5).

Gráfico 5 – Precipitação de 1974 a 2013 (Quadra chuvosa)



Fonte: ANA (2006).

O gráfico 5 foi elaborado distribuído por décadas. Nota-se o destaque na década de 2000 porque, no ano de 2009, o Coreaú transbordou sua barragem, causando um alagamento em todo o estuário a jusante da barragem e a montante, tendo como consequência inundações em vários pontos na cidade de Granja (FIGURA 29).

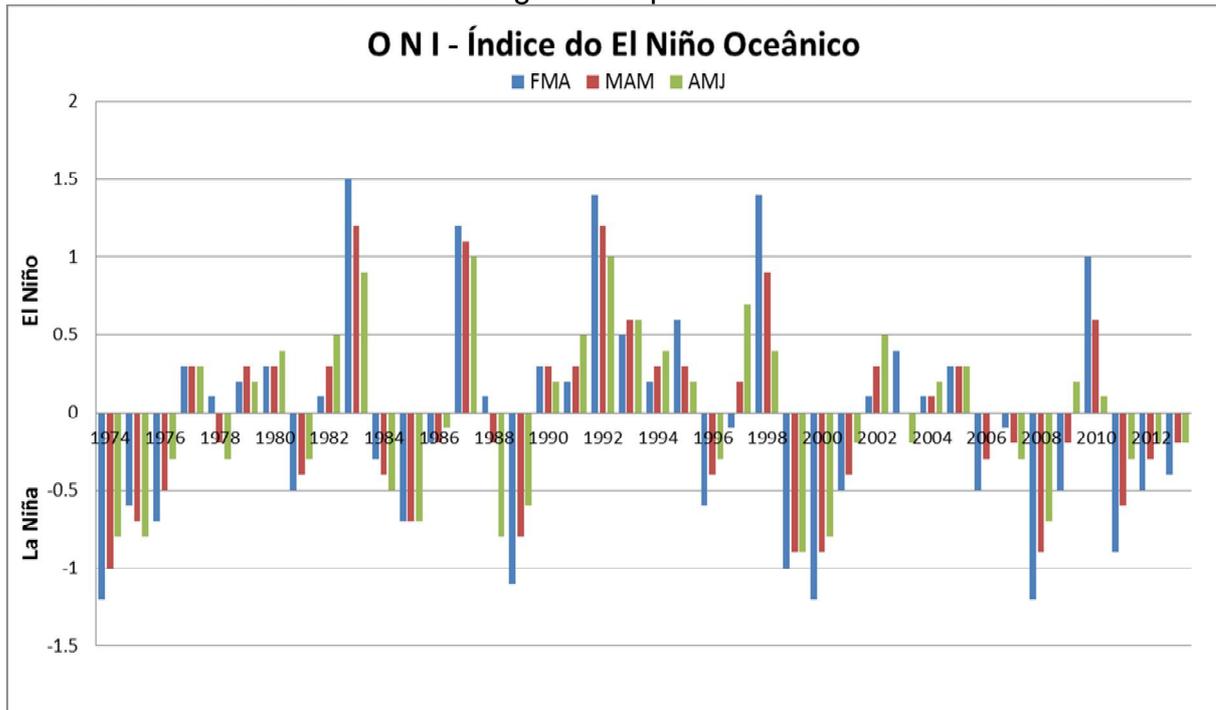
Figura 29 – Enchente do Coreaú em 2009



Fonte: Stúdio Nilo Produções (2009).

Para fazer uma comparação dos anos de precipitação com maior intensidade e os anos de *El Niño*, ou melhor, anos de anomalias de temperaturas no Oceano Pacífico que causam tal fenômeno, pode-se observar um gráfico dessas anomalias durante o período de precipitação analisada, destacando os meses de quadra chuvosa para o Nordeste do Brasil (GRÁFICO 6).

Gráfico 6 – *El Niño* e *La Niña* abrangendo a quadra chuvosa do NE de 1974 a 2012



Fonte: Dados retirados do NationalWeather Service – Climate Prediction Center (*site*). Modificado pela autora.

Os valores do gráfico que ficam de 0.5 a 0.9 são classificados como uma anomalia fraca de aumento de temperatura no Oceano. Sendo assim, o fenômeno *El Niño* tem menos força de atuação; de 1.0 a 1.4 é classificado como moderado e maior do que 1.5 é qualificado como forte. O mesmo acontece para *La Niña*, porém com os valores abaixo de 0, ou seja, a anomalia é de resfriamento do Oceano (NOOA, 2015).

Os eventos de *El Niño* e *La Niña* tem uma tendência a alternarem-se a cada 3,2 anos; mas de um evento para o outro pode haver um espaço de um a dez anos de intervalo. Segundo as medições de Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (ATSM), o *El Niño* mais intenso ocorreu em 1982-1983 e em 1997-1998 (BARBOSA, 2013 apud COSTA, 2009). Não foi possível observar os

efeitos dos eventos de alta energia associados aos níveis de precipitação na morfologia e sedimentologia estuarina.

O desvio padrão dos dados apresentados na tabela anterior são baixos com valores oscilando entre 0,19 a 5, ou seja, as modificações interanuais foram reduzidas, exceto para o atributo viveiro de camarões, cuja área aumentou em mais de 100%.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

I – De acordo com as imagens processadas dos anos de 1975 a 2012, escolhidas de acordo com a amplitude de maré, ficou evidenciado o aumento de área de barras arenosas em 45%, o que revelou o assoreamento do estuário ao longo dos anos por causas naturais acentuadas por fatores antrópicos, já que se observou também uma redução de áreas naturais alagadas em 93% decorrente da urbanização local.

II – Os eventos climáticos de alta energia podem influenciar o regime de chuvas para o Coreaú no sentido de deslocamento da quadra chuvosa dentro do ano, somados aos fatores ambientais, como marés, ventos e erosão, influenciando na formação de barras arenosas dentro do estuário ao longo dos 37 anos de análise das imagens.

III – A sedimentação do estuário demonstrou forte influência marinha, visto que a classificação textural dos sedimentos apontou uma quantidade de 38% de areia média, 14% de areia grossa e 11% de areia fina, distribuindo-se os 37% restantes entre silte e argila; o carbonato de cálcio teve seu valor numa média de 40%, com amostras pontuais de 92%, e a matéria orgânica distribuiu-se em média de 3,49%, com picos maiores do que 40% em sítios próximos a viveiros de carcinicultura.

IV – A evolução geomorfológica do estuário do rio Coreaú mostra um cenário de assoreamento no curso do Rio que pode se intensificar de acordo com a influência de fatores climáticos de alta energia incorporados a fatores antrópicos como: construção de viveiros de carcinicultura que tiveram aumento na área de 65% ao longo de 37 anos de análise, construções urbanas para expansão da cidade de Camocim, o que fez diminuir as áreas de alagados naturais de água doce em 93%.

V – A Hidrodinâmica do estuário demonstrou uma variação de baixo a muito alto, conforme o diagrama de Pejrup, a distribuição longitudinal é modelada de acordo com as barreiras naturais (ilhas e barras arenosas). A distribuição granulométrica, aliada à hidrodinâmica vem a indicar que as marés controlam os processos advectivos e de sedimentação no estuário do Coreaú.

## REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. 2006. **Sistema de Informações Hidrológicas-HidroWeb**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 dez. 2013.
- ARAÚJO, M. V. et al. Análise geoambiental da área estuarina do rio Acaraú, município de Acaraú – Ceará-Brasil, usando técnicas de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 4561-4568.
- ARAÚJO, M. V.; FREIRE, G. S. S. Análise dos impactos ambientais causados em estuários: estudo do estuário do rio Acaraú, Ceará-Brasil. **Revista Caminhos de Geografia**, 2007.
- ARAÚJO, M. V.; FREIRE, G. S. S.; CRUZ, P. S.; PORTELA, J. P. Caracterização geoambiental e conscientização da população quanto a conservação da APA do estuário do rio Ceará/CE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007.
- ASSIS, L. F. **Entre o turismo e o imobiliário: velhos e novos usos das segundas residências sob o enfoque da multiterritorialidade – Camocim-CE**. 2012. 279 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2012.
- BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. **Introdução a Geologia Marinha**. Rio de Janeiro. Interciência. 2004.
- BARBOSA, N. F. M. **KernelSmoothing dos dados de chuva no Nordeste**. 2013. 73 p. Dissertação (Mestrado em Biometria e Estatística Aplicada) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.
- BECK, M. **Diário da expedição de Mathias Beck ao Ceará em 1649**. Trad. Alfredo de Carvalho. **Revista Trimensal do Instituto do Ceará**, Fortaleza, tomo XVII, ano XVII, p. 339-417, 1903.
- BENSI, M. **Aplicação do correntômetro acústico ADCP em ambientes marinhos e estuarinos do Ceará e Paraíba – Nordeste do Brasil**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Labomar, UFC, Fortaleza, 2006.
- BRAGA, C. D.; MORAIS, J. O. de. **Dinâmica do sistema estuarino Timonha/Ubatuba (Ceará - Brasil): considerações ambientais**. 2005. Disponível em: <<http://www.teses.ufc.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2012.
- CAMELO, C. E. C. J. **Avaliação da influência do transporte eólico na evolução da desembocadura do estuário do rio Coreau, Camocim-CE**. 2013. 51 p. Monografia (Graduação) – Labomar, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2013.

CAMERON, W. M.; PRITCHARD, D. W. Estuaries. In: HILL, M. N. (Ed.). **The Sea: Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas**. Volume 2. 1963. New York: Interscience Publishers, 1963. Disponível em: <<http://coastal.tamug.edu/classes/alaskaclass/Pritchard%20Def%20of%20estuary.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

CARBONNEAU, P. E.; PIÉGAY, H. **Fluvial Remote Sensing for Science and Management**. Wiley: Blackwell, 2012.

CARVALHO, M. E. S.; FONTES, A. L. Caracterização geomorfológica da zona costeira do estado de Sergipe. In: REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, Goiás, 2006.

CAVALCANTE, A. A.; CUNHA, S. B. da. Morfodinâmica fluvial em áreas semiáridas: Discutindo o vale do rio Jaguaribe-CE-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, p. 39-49, 2012.

COGERH. **Caderno Regional da Bacia do Coreaú**, v. 3. 2009.

DALRYMPLE, R. W. Tidaldepositional systems. In: WALKER, R. G.; JAMES, N. P. (Eds.). **Facies models: response to sea level change**. Canada: Geological Association of Canada, 1992.

DALRYMPLE, R. W.; BAKER, E. K.; HARRIS, P. T.; HUGHES, M. Sedimentology and stratigraphy of a tide-dominated, foreland-basin delta (Fly River, Papua New Guinea). In: SIDI, F. H.; NUMMEDAL, D.; IMBERT, P.; DARMAN, H.; POSAMENTIER, H. W. (Eds.). **Tropical Deltas of Southeast Asia – Sedimentology, Stratigraphy, and Petroleum Geology**. SEPM Spec. Publ., 2003.

DALRYMPLE, R. W.; CHOI, K. S. Sediment transport by tidal currents. In: MIDDLETON, G. V. (Ed.). **Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.

DALRYMPLE, R. W.; CHOI, K. Morphologic and facies trends through the fluvial-marine transition in tide-dominated depositional systems: A schematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation. **Earth-Science Reviews**, v. 81, p. 135-174, 2007.

DAVIES, J. H. A Morphogenic Approach of World Shorelines. **Z. Geomorphology**, v. 8, p. 127-142, 1964.

DENG, J.; BAO, Y. Morphologic evolution and hydrodynamic variation during the last 30 years in the LINGDING Bay, South China Sea. **Journal of Coastal Research**, p. 1482-1489, 2011.

DEUS, B. V.; ZEILLHOFER, P.; ARAUJO, G. C.; SANTOS, A. S. L. Interpolação pluviométrica na Bacia do Alto e Médio rio Teles Pires: uma análise de séries históricas e interpoladores. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. **Anais...** Recife: UFPE, 2010. p. 1-7.

- DIAS, C. B. **Dinâmica do sistema estuarino Timonha/Ubatuba (Ceará - Brasil): considerações ambientais**. 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.
- DOMINGUEZ, J. M. L. et al. Potencial de Danos Econômicos Face à Erosão Costeira, Relativo às Praias da Costa do Descobrimento – Litoral Sul do Estado da Bahia. **Revista Pesquisas em Geociências**, v. 34, n. 1, p. 35-44, 2007.
- DOMINGUEZ, J. M. L. The Coastal Zone of Brazil. In: DILLEMBURG, S. R.; HESP, P. (Org.). **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Springer-Verlag, 2009.
- DORNKAMP, J. C.; KING, C. A. M. **Numerical analysis in Geomorphology: An Introduction**. London: Edward Arnold Ltd., 1971.
- DÜRR, H. H.; LARUELLE, G. G.; VAN KEMPEN, C. M.; SLOMP, C. P.; MEYBECK, M.; MIDDELKOOP, H. Worldwide typology of nearshore coastal systems: defining the estuarine filter of river inputs to the oceans. **Estuaries and coasts**, v. 34, n. 3, p. 441-458, 2011.
- DYER, K. R. **Estuaries: a physical introduction**. 2. end. Chichester: Wiley, 1997.
- FARIAS, E. G. G. **Caracterização ambiental do estuário do rio Coreaú-CE**. 2006. 49 p. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Pesca, Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
- FARIAS, E. G. G. DE. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em Ambientes litorâneos do Estado do Ceará**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2008.
- FARRAPEIRA, C. A. 2013. **Evolução paleogeográfica do baixo vale do rio Coreaú e plataforma continental, Ceará, Brasil**. 2013. 150 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará (UECE), Fortaleza, 2013.
- FLORENZANO, T. G.; VALERIO FILHO, M.; RODRIGUES, R. L. V. **Identificação de áreas submetidas à inundação através de imagens TM/ LANDSAT nas bacias dos rios Pindaré, Mearim, Jaguaribe, Apodi, Piranhas e São Francisco**. São José dos Campos: INPE, 1990.
- FREIRES, E. V.; GOMES, D. D. M. et al. Análise da evolução urbana no entorno do estuário do Rio Cocó – Fortaleza/Ceará nos anos de 1985, 1996 e 2007. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 17, n. 3, set./dez. 2013.
- GANJU, N. K. et al. **Discontinuous hindcast simulations of estuarine bathymetric change: A case study from Suisun Bay**. California: Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2011.

- GODIN, G. The Propagation of Tides up Rivers with Special Considerations on the Upper Saint-Lawrence River. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 48, p. 307-324, 1999.
- GODOY, M. D. P.; DE LACERDA, L. D. River-island morphological response to basin land-use change within the Jaguaribe River estuary, NE Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 30, n. 2, p. 399-410, 2014.
- GORAYEB, A. **Análise geoambiental e dos impactos na bacia hidrográfica do rio Curu- Ceará-Brasil**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2004.
- GORAYEB, A.; SOUZA, M. J. N.; ARAÚJO, L. F. P.; FIGUERÊDO, M. C. B.; ROSA, M. F.; SILVA, E. V da. Aspectos geoambientais, condições de uso e ocupação do solo e níveis de desmatamento da bacia hidrográfica do rio Curu , Ceará – Brasil. **Revista Eletrônica**, Londrina, v. 7, n, 2, p. 85-106, 2005.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao\\_da\\_populacao/2013/](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2013/)>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- JEONG, S.; MURAYAMA, M.; YAMAMOTO, K. **Efficient optimization design method using kriging model**. Japan: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012.
- KAMPEL, M.; AMARAL, S.; SOARES, M. L. Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multi-temporal de manguezais no Nordeste brasileiro. Um estudo no litoral do Estado do Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBSR, 2005. p. 979-986.
- KARUNARATHNA, H.; REEVE, D.; SIVACK, M. Long-term morphodynamic evolution of estuaries: An inverse problem. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 77, p. 385-395, 2008.
- KROMMEN, R. **Mathias Beck e a Cia. das Índias Ocidentais**. Fortaleza: UFC, 1997. . (O domínio holandês no Ceará colonial).
- LANE, A. Bathymetric evolution of the Mersey Estuary, UK, 1906e1997: causes and effects. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 59, p. 249-263, 2004.
- LEGLEITER, C. J. Remote measurement of river morphology via fusion of LiDAR topography and spectrally based bathymetry. **Earth Surf. Process, Landforms**, v. 37, p. 499-518, 2012.
- LESSA, G. C. Baías Brasileiras:Grandes estuários em uma costa regressiva? In: CONGRESSO DA ABEQUA, 10., 2005, Guarapari. **Anais...** Guarapari, 2005. Disponível em: <<http://www.abequa.org.br/>>. Acesso em: 10 maio 2013.

LOURENÇO, F. R.; SANCHES, I. D.; FURTADO, A. L. dos S. Avaliação das técnicas de fusão disponíveis nos softwares ArcGis, Erdas e Envi. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBRS, 2011. P. 7486.

MAIA, L. P.; MONTEIRO, L. H. U.; SOUZA, G. M.; LACERDA, L. D. Changes in mangrove extension along the Northeastern Brazilian coast (1978-2003). **ISME/Glomis Electronic Journal**, v. 5, n. 1, p. 1-5, 2006. Disponível em: <<http://www.glomis.com/ej/pdf/ej05-1.pdf>> (July, 2005). Acesso em: 15 dez. 2013.

MAIA, L. P.; LACERDA, L. D.; MONTEIRO, L. H. U. ; SOUZA, G. M. E. **Atlas dos manguezais do nordeste do Brasil**. Fortaleza: SEMACE, 2006. v. 1.

MARINO, M. T. R. D.; LEHUGEUR, L. G. O.; MARINO, M. T. R. D.; LEHUGEUR, L. G. O. Zoneamento geoambiental do município de Amontada costa oeste do estado do Ceará. **Revista de Geologia**, v. 20, n. 1, p. 39-55, 2007.

MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA, M. G. C.; GORAYEB, A.; THIERS, P. R. L. Interação dos indicadores de flutuações do nível do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, ano 4, n. 8, 2005.

MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V. Abordagem Geomorfológica para a realização de estudos integrados para o planejamento e gestão em ambientes flúvio-marinhos. Scripta Nova. **Revista electrónica de geografía y ciencias sociales**, Barcelona, v. 6, n. 118, 2002.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012.

MIRANDA, A. G. O.; MENDES, A. C. **Evolução Batimétrica da Baía de Guajará**. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 11., 2007, Belém. **Anais...** Belém: ABEQUA, 2007.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de estuários**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 2002.

MORAES, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do Litoral Brasileiro**. 2. ed. , São Paulo: Anna- blume 2007.

MORAIS, J. O. Processos e impactos ambientais em zonas costeiras. **Revista de Geologia da UFC**, Fortaleza, v.9,p.191-242,1999.

MORAIS, J. O.; FONTELES, M. L. Fluxos Interativos na Elaboração da Planície costeira de Itarema-Ceará. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 1, n. 2, p. 63-68, 2000.

MORAIS, J. O.; IRION, G. F.; PINHEIRO, L. S.; MEDEIROS, C. Aspectos sedimentológicos comparativos entre o sistema estuarino do Malcozinhado e lagoa da Encantada-Ceará. **Essentia**, Sobral, v. 4, n. 1, p. 101-112, 2002.

MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 2006.

MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, ano 4, n. 7, 2005.

NEVES, M. M.; NEVES, S. M. Influência da morfodinâmica costeira na fisiografia do município de Cabedelo-PB. **Revista de Geografia**, Recife, v. esp., n. 2, set. 2010.

OLIVEIRA, J. E. L.; CASTRO, P. T.; ARARIPE, H. G. A. **Caracterização dos ecossistemas costeiros dos estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí. 1999**. Disponível em: <[www.anp.gov.br/meio/guias/sismica/.../RegiaoNordeste\\_RGN\\_CE\\_PI.pdf](http://www.anp.gov.br/meio/guias/sismica/.../RegiaoNordeste_RGN_CE_PI.pdf)>. Acesso em: 13 jan. 2014.

OLIVEIRA, J. M. **Ecodinâmica e vulnerabilidade ambiental da zona estuarina do rio Zumbi, litoral oeste do Ceará**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará (UECE), Fortaleza, 2011.

PEREIRA, F. F. **Portal da História do Ceará**: conheça o Ceará através de seus homens e fatos. 1877. Disponível em: <<http://www.ceara.pro.br/cearenses/listapornomedetalhe.php?pid=33349>>. Acesso em: 15 maio 2013.

PERILLO, G. M. E. **Geomorphology and sedimentology of estuaries**. Amsterdam: Elsevier, 1996.

PICADO, A.; DIAS, J. M.; FORTUNATO, A. B. Tidal changes in estuarine systems induced by local geomorphologic modifications. **Continental Shelf Research**, v. 30, n. 17, 2010.

PILDAS, L. **História de Coreaú (1702 – 2002)**. Fortaleza: Edição Gráfica, 2003.

PINHEIRO, L. S.; MEDEIROS, C.; MORAIS, J. O. Erosive processes monitoring linked to the estuarine evolution systems nearby AguasBelas, Cascavel, Ceará, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Itajaí, v. 39, n.1, p. 1403-1406, 2006.

PINHEIRO, L. S.; MEDEIROS, C.; MORAIS, J. O. **Riscos e Gestão Ambiental no Estuário do Rio Malcozinhado, Cascavel-CE**. 2003. 229 p. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Cidade, 2003.

PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J. O.; PITOMBEIRA, E. S. Caponga Shoreline Rehabilitation Assesments. **Journal of Coastal Research**, Itajaí, Special Issue, v. 35, p. 536-542, 2003.

PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J. O.; PONTES, H. X.; PAULA, D. P. **Balanço Sedimentar e evolução costeira do litoral de Camocim-CE**. Fortaleza: Pesquisas FUNCAP, 2002.

PINHEIRO, L. S.;MORAIS,J. O. Interferências de barramentos no regime hidrológico do estuário do rio Catú-Ceará-Nordeste do Brasil. **Sociedade & natureza (UFU)**, v. 22, p. 237-250, 2010.

PITOMBEIRA, E. S. Comportamento Migratório da Embocadura e Estuário do Rio Coreaú (Ceará-Brasil). **Arquivo de Ciências do Mar**, v. 16, p. 111-115, 1976.

PRITCHARD, D. W. **Estuarine Hydrography**. Advances in Geophysics. New York: Academic Press, 1952. v. 1.

QUINTELA-FALCÃO, T. O.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. de. Morphodynamics of the Curu Estuary inlet – Brazil. **Journal of Coastal Research**, (SI 64 Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Coastal Symposium), 805-808. Szczecin, Poland, 2011. ISSN 0749-0208.

ROBINS, P. E.; DAVIES, A. G. Morphological controls in sandy estuaries: the influence of tidal flats and bathymetry on sediment transport. **Ocean Dynamics**, v. 60, n. 3), p. 503-517, 2010.

ROCHA, G. H. M. **Morfodinâmica de desembocaduras de sistemas estuarinos barrados**: o caso do rio Pacoti-Ceará. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará (UECE), Fortaleza, 2013.

RODRIGUES, S. W. P. **Deteção de mudanças e sedimentação no estuário do rio Coreaú**. 2014. 107 p.Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

SANDIDGE, J. C.; HOLYER, R. J. Coastal Bathymetry from Hyperspectral Observations of Water Radiance. Remote Sens. **Remote Sens**, Environ, v. 65, p. 341-352, 1998.

SILVA FILHO, W. F.; CASTRO, D. L.; CORRÊA, I. C. S.; FREIRE, G. S. S. Estruturas rasas na margem equatorial ao largo do nordeste brasileiro (Estado do Ceará): análise de relevo e anomalias gravimétricas residuais. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25,Supl. 1, p. 65-77, 2007.

SILVA, C. G.; PATCHINEELAM, S. M.; BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: BATISTA NETO, J. A. et al. (Org.). **Introdução à Geologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SILVA, J. X. da.**Processes and landforms in the South American Coast**. 1973. 103 p. Tese (Doutorado em Agricultural and Mechanical) – Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Baton Rouge, 1973.

SOARES FILHO, A. A.; ALCANTARA-FILHO, P. Características hidrológicas das águas estuarinas entre a região média e boca do Rio Jaguaribe (Ceará-Brasil). **Revista de Ciência e Tecnologia da UECE**, Fortaleza, v. 4, n. 4, p. 43-50, 2002.

SOUZA, J. A. X. de. A “litoralização” de Camocim (CE) e o território usado da praia de Maceió-CE. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v. 2, n.1, p. 88-97, 2008.

SOUZA, J. A. X. de; ASSIS, L. F. DE. A “turistificação” do espaço em Camocim e sua discussão nas aulas de Geografia do ensino médio. **Revista Homem, Tempo e Espaço**, Sobral, v. 1, n. 1, p. 1-19, set. 2007. Disponível em: <[http://www.uvanet.br/rhet/artigos/art\\_turistificacao\\_jl.pdf](http://www.uvanet.br/rhet/artigos/art_turistificacao_jl.pdf)>. Acesso em: 05/10/2014.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

\_\_\_\_\_. **Dicionário de Geologia Marinha**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992.

TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, p. 11-23, 2005.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de microbacias elaborados com krigagem**. Do projeto de Produtividade em Pesquisa: Padronização de metodologias para tratamento digital de microbacias. INPE, 2002.

VALLE-LEVINSON, A. **Definition and classification of estuaries. Contemporary Issues in Estuarine Physics**. New York : Cambridge University Press, 2010.

VITAL, H. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. 2006.

Disponível em:

<[http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/\\_arquivos/rn\\_erosao.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/rn_erosao.pdf)>. Acesso em: jan. 2014.

ZANELLA, M. E. et al. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do rio cocó, Fortaleza-CE. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 317-332, 2013.

## ANEXO A – DECLARAÇÃO DE REVISÃO GRAMATICAL



ACADEMIA CEARENSE  
DA LÍNGUA PORTUGUESA

DVLICISONAM ET CANORAM LINGVAM CANO

Declara-se, para constituir prova junto ao (à) Prog. Pós-Grad. Ciênc. Mestrado Tropicais  
do (da) LABORATÓRIO - U.F.C,  
que, por intermédio do acadêmico titular infra-assinado, foi procedida à correção gramatical e estilística  
do (da) TESE DE DOUTORADO intitulado (da) "ENUNCIÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO CA-  
NAL ESTUARINO DO RIO COCÓ - CEARÁ - BRASIL"  
da autoria de MARIA CECÍLIA DA SILVA COMAROS  
orientado (a) pelo (a) \_\_\_\_\_,  
razão por que se firma a presente, a fim de que surta os efeitos legais, nos termos do novo Acordo Orto-  
gráfico Lusófono, vigente desde 01.01.2009.

Fortaleza (CE) de 25 de Maio de 2015.

  
Prof. Vianney Mesquita  
Reg. Profissional  
CE 00489JP

Prof. João VIANNY Campos de MESQUITA  
Acadêmico Titular da Cadeira número 37 da ACLP.  
Escritor e docente Adjunto IV da Universidade Federal do Ceará  
Reg. Prof. MTE00489JP.