



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E  
GEOFÍSICA

## DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

# CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E SEDIMENTOLÓGICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA ADJACENTE AOS MUNICÍPIOS DE FORTIM, ARACATI E ICAPUÍ - CE

Autora:

*Patrícia Reis Alencar Oliveira*

Orientadora:

*Prof. Dra. Helenice Vital*  
(PPGG/DG-UFRN)

Co-Orientador:

*Prof. Dr. George Satander Sá Freire*  
(DG-UFC)

Dissertação nº76/ PPGG

Natal - RN, maio de 2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E  
GEOFÍSICA

## DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

# CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E SEDIMENTOLOGICA DA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA ADJACENTE AOS MUNICÍPIOS DE FORTIM, ARACATI E ICAPUÍ - CE

Autora:

**Patrícia Reis Alencar Oliveira**

*Dissertação de Mestrado apresentada  
à Universidade Federal do Rio  
Grande do Norte, para obtenção do  
título de Mestre em **Ciências da Terra**  
pelo Programa de Pós-Graduação em  
Geodinâmica e Geofísica da UFRN.*

### Comissão Examinadora:

PROF. Dra. HELENICE VITAL (UFRN/DG - Orientadora)

PROF. Dr. GEORGE SATANDER SÁ FREIRE (UFC/DEGEO - Co-Orientador)

PROF. Dr. WERNER FARKATT TABOSA (UFRN/DG)

**Natal - RN, maio de 2009**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEODINÂMICA E  
GEOFÍSICA**

## **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Dissertação de Mestrado desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGG/UFRN), tendo sido subsidiada pelos seguintes agentes financiadores:

- Agência Nacional do Petróleo - ANP/PRH-22;
- Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, através do Programa de Recursos Humanos da ANP para o setor Petróleo e Gás Natural – PRH-ANP/MME/MCT;
- PROJETOS POTMAR E PETRORISCO (REDE 05/ FINEP/ CNPq/ CTPETRO/ PETROBRAS);
- CNPq (grant 312275/2006-4)



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho para meus pais, Luiz Carlos e Stela, aos meus irmãos,  
Breno, Rafael e Luiza.

## **EPÍGRAFE**

Que os esforços superem as impossibilidades, pois as grandes proezas dos  
homens surgiram daquilo que parecia ser impossível.

“Charles Chaplin”

# SUMÁRIO

---

---

<b>RESUMO</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>AGRADECIMENTO</b> .....	iii

---

## CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

1.1. <b>Apresentação</b> .....	1
1.2. <b>Objetivos</b> .....	2
1.3. <b>Justificativa do Tema</b> .....	2
1.4. <b>Localização da Área em Estudo</b> .....	5
1.5. <b>Estado da Arte</b> .....	6
1.6. <b>Aspectos Fisiográficos e Oceanográficos</b> .....	9
1.6.1. Aspectos Físicos.....	9
1.6.2. Observações Oceanográficas.....	13

---

## CAPÍTULO II – CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1. <b>Introdução</b> .....	18
2.2. <b>Arcabouço Estrutural</b> .....	19
2.3. <b>Evolução Tectono-Sedimentar</b> .....	21
2.4. <b>Evolução Tectono-Estrutural</b> .....	23
2.5. <b>Estratigrafia</b> .....	25
2.5.1. Grupo Areia Branca.....	27
2.5.2. Grupo Apodi.....	27
2.5.3. Grupo Agulha .....	28
2.6. <b>Formação Barreira</b> .....	28
2.7. <b>Magmatismo Meso-Cenozóico</b> .....	29
2.8. <b>Morfologia da Zona Costeira</b> .....	29
2.9. <b>Plataforma Continental</b> .....	30

---

### **CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS**

3.1.	<i>Pesquisa Bibliográfica</i> .....	33
3.2.	<i>Confecção das Cartas Base</i> .....	37
3.2.1.	Processamento Digital de Imagem.....	37
3.2.2.	Processamento de Dados Batimétricos.....	39
3.3.	<i>Trabalho de Campo</i> .....	42
3.3.1.	Levantamento Sonográfico.....	43
3.3.2.	Coleta de Sedimento de Fundo.....	45
3.4.	<i>Procedimento de Laboratório</i> .....	47
3.4.1.	Análise Sedimentológica.....	47
3.5.	<i>Trabalho de Gabinete</i> .....	49
3.5.1.	Processamento dos Dados Sedimentológicos.....	49
3.5.2.	Processamento de Dados Sonográficos.....	50
3.6.	<i>Integração e Análise dos Dados</i> .....	50

---

### **CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

4.1.	<i>Material em Suspensão e Deriva Litorânea</i> .....	51
4.2.	<i>Formas de Fundo</i> .....	58
4.2.1.	Dunas Longitudinais.....	58
4.2.2.	Dunas Transversais.....	58
4.2.3.	Dunas Obliquas.....	64
4.2.4.	Bancos de Sedimentos Bioclásticos.....	64
4.2.5.	Fundo Rochoso.....	64
4.2.6.	Paleocanais Submersos.....	71
4.2.7.	Leito Plano.....	74
4.3.	<i>Faciologia</i> .....	96
4.3.1.	Distribuição do Teor de Carbonato de Cálcio.....	96
4.3.2.	Mapa faciológico.....	96
4.3.2.1.	Areia Bioclástica.....	99
4.3.2.2.	Areia Siliciclástica.....	99
4.3.2.3.	Areia Biosiliciclástica.....	99

4.3.2.4. Areia Cascalhos Bioclástica.....	101
4.3.2.5. Areia Cascalhosa Biosiliciclástico.....	101
4.3.2.6. Areia Cascalhosa Silicibioclástica.....	101

---

## **CAPÍTULO V– CONCLUSÕES**

5.1 <i>Conclusões</i> .....	102
-----------------------------	-----

---

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	106
---	-----

---

---

## SUMÁRIO DAS TABELAS

---

---

### **CAPÍTULO II – MATERIAIS E MÉTODOS**

**Tabela 2.1** – Empilhamento lito e edafoestratigráfico para as rochas da Formação Barreira nos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte (Mabessone *et al.*, 1972). **29**

---

### **CAPÍTULO III – CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL**

**Tabela 3.1** – Parâmetros estatísticos da Krigagem, área submersa. **41**

---

---

## SUMÁRIO DAS FIGURAS

---

### CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

- Figura 1.1 – Mapa de localização da Plataforma Continental Cearense ao largo dos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí (CE), área de estudo e área de detalhamento.** 6
- Figura 1.2 - Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ilustrada a partir das imagens de satélite METEOSAT-7. Fonte: [www.funceme.br](http://www.funceme.br), acessado no dia 19 de Setembro de 2208.** 9
- Figura 1.3 – Médias mensais de precipitação pluviométrica durante o período de 2005 e 2006. Fonte: FUNCEME/Estação Icapuí.** 10
- Figura 1.4 – Precipitação acumulada (mm) entre 02/09/2008 e 02/09/2008 06Z nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Fonte: <http://lumis.bc.ep.petrobras.biz>.** 10
- Figura 1.5 – Médias mensais de temperaturas do ar durante o período de 2004 a 2006. Fonte: FUNCEME/Estação Icapuí.** 11
- Figura 1.6 – Máximas e mínimas da temperatura, velocidade do vento e umidade registrada nos dias 19, 20 e 21 de 2008 para: a) município de Icapuí/CE e b) município de Aracati/CE. Fonte: <http://lumis.bc.ep.petrobras.biz>.** 11
- Figura 1.7 – Umidade relativa do ar no período de 2000 a 2004. Fonte: FUNCEME/Estação Icapuí.** 12
- Figura 1.8 – Radiação incidente total durante o período de 2000 à 2004. Fonte: [www.funceme.br/estaçãoicapuí](http://www.funceme.br/estaçãoicapuí).** 12
- Figura 1.9 – Pressão atmosférica no período de 2004 à 2006. Fonte: [www.funceme/estaçãoicapuí](http://www.funceme/estaçãoicapuí).** 12
- Figura 1.10 – Ciclo global da circulação oceânica mostrando a integração entre a circulação superficial e a termoalina (modificada de Thurman, 1994). Fonte: Patchineelam, 2004.** 13
- Figura 1.11 – Distribuição das correntes permanentes da região Nordeste do Brasil. Consultada em Freire (1985). CNB: Corrente Norte Brasileira.** 14
- Figura 1.12 – Velocidade média do vento a 10 metros de altura durante o período de 2004 a 2006. Fonte: FUNCEME/Estação Icapuí.** 15
- Figura 1.13 – Direção do vento a 10 metros de altura durante o período de 2004 a 2006. Fonte: FUNCEME/Estação Icapuí.** 15

**Figura 1.14 – Exemplo da distribuição e velocidade (m/s) dos ventos na costa cearense. Adaptada de Maia (1998). Consultado em Oliveira, 2007.** 15

**Figura 1.15 – Carta imagem da plataforma continental ao largo do Estado do Ceará a partir da imagem de satélite LANDSAT 5 TM+ de 1999, composição RGB123.** 17

---

## **CAPÍTULO II – CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL**

**Figura 2.1 - Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar. SPA, sedimentos de praia e aluviais. (Modificado de Dantas, 1998).** 19

**Figura 2.2 – Mapa do arcabouço tectônico da Bacia Potiguar (Modificado de Cremonini *et al.*, 1996).** 20

**Figura 2.3 – Ambiente deposicional do estágio rifte. Modificado de Matos (1987-B).** 21

**Figura 2.4 – Ambiente deposicional do estágio transicional. Segundo Costa (1983).** 22

**Figura 2.5 – Ambiente deposicional durante o estágio drifte: a) unidade transgressiva, b) unidade regressiva ou progradacional. Segundo Bertani & Costa (1988).** 23

**Figura 2.6 – Evolução da separação dos continentes Sul-Americano e Africano, proposta por Françolin e Szatmari (1987).** 24

**Figura 2.7 – Coluna estratigráfica proposta para a Bacia Potiguar, conforme Soares (2003), modificado de Pessoa Neto *et al* (2007).** 26

**Figura 2.8 – Mapa faciológico da Plataforma Continental Cearense Porção Leste (Oliveira, 2007).** 32

---

## **CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODO**

**Figura 3. 1 - Fluxograma dos métodos adotados para confecção desta dissertação.** 34

**Figura 3.2 - Imagens de satélites utilizadas nesta dissertação. a) LANDSAT 5 TM de 2008; e b) LANDSAT 5 TM de 1988.** 35

<b>Figura 3. 3 – Mapa de localização dos dados batimétricos da plataforma continental do estado do Ceará, porção leste.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 3. 4 – Mapa de localização das amostras sedimentológicas de superfície cedidas pelo LGMA.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 3. 5 – Processamento de dado digital realizado no programa <i>ER MAPPER 8.0</i> ilustrando a aplicação de filtros direcionais e ajuste de histograma. a) Imagem multiespectral não processada da imagem LANDSAT 5 TM de 1999; b) Imagem multiespectral processada da imagem LANDSAT 5 TM; c) Filtros direcionais; e d) Ajuste de histograma.</b>	<b>38</b>
<b>Figura 3. 6 – Semi-variograma dos dados da região submersa com ajuste aproximado de 25%.</b>	<b>40</b>
<b>Figura 3. 7 – Malha regular (<i>grid</i>) dos dados obtido a partir do interpolador Krigagem.</b>	<b>41</b>
<b>Figura 3. 8 - Trabalhos desenvolvidos em campo. a), b) e c) embarcação utilizada; d) instalação dos equipamentos a bordo; e) armazenagem de alimentos e utensílios a bordo; f) acondicionamento de amostras; g) e h) sonar de varredura lateral.</b>	<b>42</b>
<b>Figura 3. 9 - Computador utilizado para o sistema de navegação, em tempo real, da embarcação. Utilizando o sistema de posicionamento do GPS da Garmin, modelo E-trex, cartas básicas e malhas de amostragem.</b>	<b>43</b>
<b>Figura 3. 10 - Sonar de varredura lateral marca <i>Edgetech</i> modelo 272-TD <i>Towfish</i> utilizado para o levantamento sonográfico.</b>	<b>44</b>
<b>Figura 3. 11 - Mapa de localização dos perfis sonográficos, plotados em imagem LANDSAT 5 TM 1990 RGB123.</b>	<b>45</b>
<b>Figura 3.12 – Mapa de localização das amostras sedimentológicas coletadas (círculos vermelhos) e pré-existentes (círculos amarelos) utilizadas nesta pesquisa.</b>	<b>46</b>
<b>Figura 3.13 – Coleta de sedimentos do fundo marinho. A) esquema de coleta da amostra; B) Amostrador pontual do tipo <i>Van Veen</i>.</b>	<b>47</b>
<b>Figura 3.14 - Centrífuga Multifuge 35 R da marca Heraeus, com rotação de 4000 rpm, a uma temperatura de 25° C e aceleração e desaceleração na ordem de 9 rpm/s.</b>	<b>48</b>
<b>Figura 3.15 – Estufa Tecnal TE 394/2 a uma temperatura de 50° C.</b>	<b>48</b>
<b>Figura 3.16 - <i>Rot up</i> elétrica da <i>Produtest</i>.</b>	<b>49</b>

---

**CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

- Figura 4.1 – Carta imagem, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição R5G2B1I1, ilustrando a presença de material particulado em suspensão (tons de azul turquesa); localização do perfil batimétrico SW-NE da figura 4.2; e localização da área de detalhamento A, B e C referente à Fortim, Ponta Grossa e Icapuí, respectivamente, da figura 4.3. 54**
- Figura 4.2 – Perfil Batimétrico SW-NE evidenciando a presença de dunas submersas, localização geográfica na figura 4.1. 55**
- Figura 4.3 – Carta imagem ilustrando o transporte dos sedimentos carreados pela deriva litorânea com direção preferencial SE-NW utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 1988. A), B) e C) região de Fortim, Ponta Grossa e Icapuí, respectivamente, localizados na figura 4.1. 56**
- Figura 4.4 – Carta imagem ilustrando as zonas delimitadas a partir da concentração do material particulado em suspensão da Plataforma Continental Cearense, área em estudo, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição R1G2B3I1. 57**
- Figura 4.5 - Carta Imagem ilustrando as feições do fundo marinho encontradas na área em estudo, dentre elas: afloramentos rochosos, bancos de sedimentos bioclásticos; dunas longitudinais, transversais e oblíquas. 59**
- Figura 4.6 – Carta Imagem ilustrando a existência de dunas longitudinais somente nas adjacências da área em estudo, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1. 60**
- Figura 4.7 - Carta Imagem ilustrando o campo de dunas transversais em contato com o banco de sedimentos bioclástico, direção de migração do campo de dunas, paleocanal e amostra sedimentológica existente da região das Dunas Transversais, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1. a) Dunas transversais, b) Contato litológico e c) Paleocanal. 62**
- Figura 4.8 - Imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1 ilustrando: a) Dunas Transversais; b) Contato litológico; c) Paleocanal; e d) Amostra sedimentológica, com localização na figura 4.7. 63**
- Figura 4.9 – Carta Imagem ilustrando as dunas transversais, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1, com localização da amostra sedimentológica e perfis batimétrico SW-NE e NW-SE. 65**
- Figura 4.10 – Perfil Batimétrico SW-NE ilustrando as presença das dunas transversais, contato litológico e *beachrock*, com localização geográfica na figura 4.9. 66**
- Figura 4.11 – Perfil Batimétrico NW-SE ilustrando as presença das dunas transversais e paleocanal, com localização geográfica na figura 4.9. 67**

---

<b>Figura 4.12 – Carta Imagem obtida a partir da integração do modelo digital do terreno e imagem de satélite (LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1) ilustrando a ocorrência das Dunas Transversais. Modelo com exagero vertical de 500 vezes.</b>	<b>68</b>
<b>Figura 4.13 – Carta Imagem obtida por integração do modelo digital do terreno e imagem de satélite (LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1) ilustrando a ocorrência das Dunas Transversais. Modelo com exagero vertical de 500 vezes.</b>	<b>69</b>
<b>Figura 4.14 – Carta Imagem ilustrando a análise temporal realizada por comparação de imagens de satélite LANDSAT 5 TM composição I1 anos 1988, 1999 e 2008.</b>	<b>70</b>
<b>Figura 4.15 – Carta Imagem ilustrando as dunas obliquas, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1.</b>	<b>73</b>
<b>Figura 4.16 Carta Imagem da região de banco de sedimentos bioclásticos ilustrando a existência de um contato bem marcado entre as dunas e o banco de sedimentos e existência de amostra sedimentológica, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1.</b>	<b>75</b>
<b>Figura 4.17 – Carta Imagem ilustrando a ocorrência de linhas de <i>beachrocks</i>, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1.</b>	<b>76</b>
<b>Figura 4.18 – Carta Imagem ilustrando a ocorrência de afloramentos rochosos, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM I1de 2008 e registro sonográfico. Registro 01, 02 e 03 ilustrados nas figuras 4.20, 4.21 e 4.22.</b>	<b>77</b>
<b>Figura 4.19 – Carta Imagem ilustrando a delimitação dos afloramentos rochosos, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM I1de 2008, com localização geográfica na figura 4.18.</b>	<b>78</b>
<b>Figura 4.20 – Registro sonográfico evidenciando a ocorrência de afloramentos rochosos, com localização geográfica na figuras 4.18, representado pelo registro 01.</b>	<b>79</b>
<b>Figura 4.21 – Registro sonográfico evidenciando a ocorrência de afloramentos rochosos pontuais, com localização na figuras 4.18, representado pelo registro 02.</b>	<b>80</b>
<b>Figura 4.22 – Registro sonográfico evidenciando a ocorrência de afloramentos rochosos, com localização na figuras 4.18 , representado pelo registro 03.</b>	<b>81</b>
<b>Figura 4.23 – Carta Imagem ilustrando a delimitação dos afloramentos rochosos e localização dos perfis topográficos 1, 2 e 3, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM I1de 2008.</b>	<b>82</b>
<b>Figura 4.24 – Perfil Batimétrico 1 dos afloramentos rochosos, com localização na figura 4.23.</b>	<b>83</b>
<b>Figura 4.25 – Perfil Batimétrico 2 dos afloramentos rochosos, com localização na figura 4.23.</b>	<b>84</b>

---

<b>Figura 4.26 – Perfil Batimétrico 3 dos afloramentos rochosos, com localização na figura 4.23.</b>	<b>85</b>
<b>Figura 4.27 – Carta imagem do paleocanal e localização dos perfis batimétricos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição R5G2B1I1.</b>	<b>86</b>
<b>Figura 4.28 – Perfis batimétricos 1, 2, 3, 4 e 5, paralelos a linha de costa, com localização geográfica na figura 4.27.</b>	<b>87</b>
<b>Figura 4.29 – Perfis batimétricos 6 e 7, perpendiculares a linha de costa, com localização geográfica na figura 4.27.</b>	<b>88</b>
<b>Figura 4.30- Mapa de anomalia do relevo modificado de Oliveira (2007) associado ao complexo de paleocanais.</b>	<b>89</b>
<b>Figura 4.31 – Carta Imagem ilustrando a ocorrência do paleocanal no registro sonográfico, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM RGB321 de 2008.</b>	<b>90</b>
<b>Figura 4.32 – Geometria sigmoideal identificada no sonar de varredura lateral somente na região de ocorrência do paleocanal, associada à ocorrência do paleocanal, com localização na figura 4.31.</b>	<b>91</b>
<b>Figura 4.33 – Carta Imagem ilustrando o preenchimento e erosão no paleocanal por comparação temporal, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 1988, 1999 e 2008 composição RGB123.</b>	<b>92</b>
<b>Figura 4.34 – Registro sonográfico ilustrando a ocorrência de leito plano, utilizando, imagem LANDSAT 5 TM de 2008 R1G2B3I1 com filtro direcional NW.</b>	<b>93</b>
<b>Figura 4.35 – Registro sonográfico 01, ilustrando a ocorrência de leito plano, com localização geográfica na figura 4.34.</b>	<b>94</b>
<b>Figura 4.36 – Registro sonográfico 02, ilustrando a ocorrência de leito plano em contato com substrato rochoso, com localização geográfica na figura 4.34.</b>	<b>95</b>
<b>Fig. 4.37 – Mapa de localização das amostras sedimentológicas representando a distribuição do teor de carbonato de cálcio.</b>	<b>97</b>
<b>Fig. 4.38 – Mapa de distribuição teor de carbonato de cálcio.</b>	<b>98</b>
<b>Figura 4.39 – Mapa faciológico confeccionado com base na classificação sedimentológica de Freire <i>et al.</i> (1997), modificada por Vital (2005)</b>	<b>100</b>

---

## **RESUMO**

A área em estudo compreende a Plataforma Continental Cearense inserida no contexto tectônico e sedimentar da Bacia Potiguar, porção submersa. Região formada por esforços extensionais durante o Cretáceo Inferior, associados ao início do rifteamento que resultaria na separação das placas sul-americana e africana.

Objetivando contribuir para um maior conhecimento das características sedimentológicas e geomorfológicas da plataforma continental adjacente aos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí (CE). Foram realizado coleta, interpretação e integração de dados do sonar de varredura lateral, imagem de satélite, batimetria e amostras de sedimentos superficiais.

Inferências quanto ao material em suspensão e deriva litorânea foram obtidas a partir do processamento digital de imagens (PDI), enquanto a caracterização das feições do fundo marinho, tais como: dunas longitudinais, dunas transversais e dunas obliquas, bancos de sedimentos bioclásticos, paleocanais submersos, leito plano e fundo rochoso foram obtidas a partir da integração de dados batimétricos sonográficos e PDI.

Quanto a sedimentologia, com base na composição e textura, foram identificados na área em estudo 6 fácies sedimentares, abrangendo uma área total de 2509,13 Km<sup>2</sup>, sendo elas: Areias Bioclásticas, Areia Siliciclástica, Areias Biosiliciclásticas, Areia Cascalhosa Bioclástica, Areia Cascalhosa Biosiliciclástica e Areias Cascalhosas Silicibioclásticas; além de rochas praias (*beachrocks*) e fundo rochoso.

A integração entre os dados batimétricos, PDI, sonográficos e sedimentológicos, mostrou-se apropriada para a caracterização morfológica e sedimentológica da Plataforma Continental da área em estudo, desta forma avançando no conhecimento da Plataforma Continental Cearense, região de interesse para a indústria do petróleo tanto no ponto de vista da exploração e exploração de hidrocarbonetos, como também ambiental.

---

## ***ABSTRACT***

The study area is located on the Brazilian Continental Shelf adjacent to Ceará State, inserted in the submerged Potiguar Basin. This area was submitted to extensional efforts during Upper Cretaceous, associated to the beginning of the rifting that resulted in African and South American Continent separation.

The main goal of this research was to better understand the sedimentary and geomorphological characteristics of the continental shelf adjacent to Fortim, Aracati and Icapuí (Ceará State). The used data base included geophysical (sides scan sonar and bathymetry studies) and sedimentological survey, associated to satellite image processing and interpretation.

Inferences about suspended material and longshore drift was possible using satellite images, and different bedforms were characterized such as: different kinds of dunes (longitudinal, cross and oblique), bioclastic banks, paleochannels, flat and rock bottom.

The researched area comprehended about 2509,13 km<sup>2</sup>, where 6 different sedimentary facies, based on sediment composition and texture, could be recognized, such as: Bioclastic Sand, Siliciclastic Sand, Biosiliciclastic Sand, Bioclastic gravel, Biosiliciclastic sand with granule and gravel, and Silicibioclastic sand with granule and gravel.

The integration of bathymetric, satellite image, side scan sonar and sedimentological data allow us a better characterization of this continental shelf area, as to advance in the knowledge of the continental shelf of the state of Ceara, a very important area to the oil industry because of its potential exploration and exploitation, and to environmental survey as well.

## ***AGRADECIMENTO***

Inicialmente gostaria de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG/UFRN pela possibilidade de integrar seu corpo discente.

A Agência Nacional do Petróleo – ANP e Programa de Recursos Humanos da ANP – PRH-22 (FINEP/CTPETRO) pela concessão de bolsa mestrado.

Ao professor e amigo George Satander pelo apoio e incentivo prestado possibilitando meu mestrado em Natal. A minha orientadora, professora e amiga Helenice Vital a qual só tenho a agradecer pela confiança e oportunidade de crescimento profissional.

Ao Laboratório de Geologia e Marinha e Aplicada – LGMA/UFC por todo apoio logístico para realização de meu campo. Aos bolsistas: Ana Angélica, Inácio Neto e Fernando pela amizade e apoio prestado em campo.

Ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental – GGMMA/UFRN por todo apoio logístico. Aos técnicos e bolsistas do GGMMA/UFRN e LGMA/UFC pelo apoio prestado em campo e laboratório, bem como pela convivência e amizade. Em especial ao amigo Moab pela troca de conhecimento e amizade.

A FINEP E PETROBRAS através dos projetos POTMAR e PETRORISCO (REDE 05 FINEP-CTPETRO-PETROBRAS) e ao CNPq (Grant número 312275/2006-4) pelo suporte financeiro.

Em especial gostaria de agradecer a meu querido pai, Luiz Carlos. Pelo apoio, esforço e dedicação empenhados em minha vinda e adaptação para Natal. Exemplo de pessoa, pai, homem e amigo, que muito me ensinou sobre ética profissional e responsabilidade.

Agradeço de coração aos meus queridos irmãos Rafael, Breno e Luiza, a minha mãe Stela por suas existências e por representar para mim meu porto seguro.

Gostaria de agradecer em especial a amiga Cristiane pelo apoio prestado em minha chegada. A sua linda família: mãe, pai, irmã e filhinho, que passaram a ser minha família e meu porto seguro em Natal. Por terem me acolhido como filha e irmã compartilhando momentos muito felizes. Ficarei eternamente agradecida.

---

Aos amigos Hugo, Fábio e Filipa por todos os momentos especiais e inesquecíveis que passamos juntos. Às aulas intermináveis, as trocas de conhecimento pessoais e profissionais, às farras, as brigas, brincadeiras e acima de tudo a amizade sincera.

As minhas queridas bibas: Dani e Dani, ops!! Foi mal Camila. Heheh!!! Pela convivência carinhosa e extremamente harmoniosa. As intermináveis conversas, presença, conselhos e paciência. Em especial a Dani, pelos puxões de orelha, lanchinhos deliciosos e apoio nos momentos mais difíceis.

Gostaria de agradecer ao meu querido amigo Rodolfo por todo o apoio, alegria, amizade e irmandade.

Aos amigos de trabalho Nilton e Janny por todo apoio e ajuda que me deram durante a fase de final desta dissertação.

---

# INTRODUÇÃO

## *1.1. Apresentação*

A presente dissertação discorre sobre a plataforma continental ao Largo do Estado do Ceará, inserida no contexto tectônico e sedimentar da Bacia Potiguar, em sua porção submersa. Este estudo envolveu a aquisição, processamento e interpretação de dados batimétricos, sonográficos, sedimentológicos, bem como o processamento de dados de sensoriamento remoto objetivando a caracterização morfológica e sedimentológica da plataforma continental brasileira adjacente aos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí do Estado do Ceará (CE).

O presente trabalho é requisito básico para a conclusão do curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Para a sua realização contou com o apoio logístico e tecno-científico do Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha e Monitoramento Ambiental (GGMMA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e do Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Assim como com o apoio financeiro dos Projetos PQ CNPq e PETRORISCO-POTMAR-SISPLAT (REDE 05-FINEP-CTPETRO-PETROBRAS) para o desenvolvimento da pesquisa e concessão de bolsa de estudo da Agência Nacional do Petróleo – ANP através do Programa de Recursos Humanos da ANP – PRH-22.

---

## ***1.2. Objetivos***

Este trabalho teve como objetivo geral contribuir para um maior conhecimento das características sedimentológicas e geomorfológicas da plataforma continental adjacente aos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí (CE) utilizando dados geofísicos de alta resolução e sedimentológicos. E como objetivos específicos:

- ▶ Caracterizar as fácies sedimentares existentes na área;
- ▶ Identificação e análise das feições morfológicas existentes;
- ▶ Aplicação de técnicas de Processamento Digital de Imagem e
- ▶ Análise da dinâmica sedimentar através da integração dos dados obtidos neste trabalho.

## ***1.3. Justificativa do Tema***

A porção submersa da margem continental brasileira concentra grande potencial para a acumulação de recursos minerais e energéticos, com destaque para os hidrocarbonetos.

O estudo da Plataforma Continental Cearense nas adjacências da região de Fortim à Icapuí é de fundamental importância para a indústria do petróleo e para a economia do país, tendo em vista que, esta região encontra-se próxima a Campos de petróleo, como o Campo Fazenda Belém. O entendimento da morfologia e sedimentologia da região mais rasa da porção submersa dessa região proporcionará uma melhor compreensão e identificação de ambientes análogos como futuros potenciais à geração e acumulação de hidrocarbonetos e de outros recursos naturais, como por exemplo, as areias siliciclásticas as quais são de grande utilidade na construção civil e também as algas, que se acumulam em grande quantidade na região costeira, útil na indústria farmacêutica. Assim como, esse tipo de estudo pode auxiliar nos estudos de impacto ambiental decorrente de atividades industriais ou extrativa de hidrocarbonetos e dos recursos naturais, obtendo-se assim, um melhor aproveitando desses recursos minerais e energéticos marinhos disponíveis, atenuando possíveis impactos ambientais oriundos dessas atividades de exploração e exploração.

Por tratar-se de uma plataforma rasa, esta área está sujeita a processos erosionais e progradacionais contínuos, influenciados por agentes hidrodinâmicos (ondas, correntes, marés, ventos) assim como, transporte de sedimentos. Além das dificuldades operacionais para aquisição de dados em áreas rasas, no Brasil os investimentos maciços em petróleo e gás têm sido direcionados ao setor de exploração e produção de petróleo, tanto por parte das empresas do setor, o que seria o esperado, mas também dos órgãos públicos, cuja principal atuação seria na manutenção do bem estar coletivo e desenvolvimento de políticas de desenvolvimento sustentável.

A aplicação de técnicas em processamento digital de imagem, batimetria, sedimentologia e sonar de varredura lateral não antes aplicados à nível de detalhe na área em estudo, podem contribuir para incrementar as reservas de óleo e gás. O conhecimento da cobertura sedimentar constitui-se em parâmetro importante para a compreensão do ecossistema como um todo, pois além de refletirem processos geológicos e hidrodinâmicos, passados e atuais, determinam, juntamente com outras variáveis ambientais, os tipos de comunidades biológicas instaladas.

O conhecimento detalhado da cobertura sedimentar é imprescindível na elaboração de planos de contingência ao derramamento de óleo em áreas rasas. As pressões sociais para um desenvolvimento sustentável darão ênfase, cada vez maior, ao uso eficiente da energia, e a minimização das consequências da atividade da indústria do petróleo sobre o meio ambiente, incluindo o equacionamento e/ou prevenção de impactos negativos no ambiente natural e social.

Uma importante ferramenta utilizada nesta caracterização é a aplicação do sonar de varredura lateral e técnicas de processamento digital de imagem (PDI), associados aos mapeamentos sedimentológicos tradicionais, que se utiliza de amostragem superficial de sedimento de fundo e mapas batimétricos.

Os registros sonográficos fornecem imagens contínuas da distribuição superficial dos sedimentos no assoalho marinho, diferenças de texturas, formas de leito, estruturas geológicas, estruturas de produção *offshore*, presença de vegetações, corais, afloramentos, embarcações naufragadas e outros objetos encontrados na superfície do fundo marinho.

As imagens de satélite devidamente tratada com técnicas de PDI possibilitam a visualização das feições de fundo marinho, a escala e evolução destas feições ao longo do tempo, e presença de diferentes texturas entre outras.

---

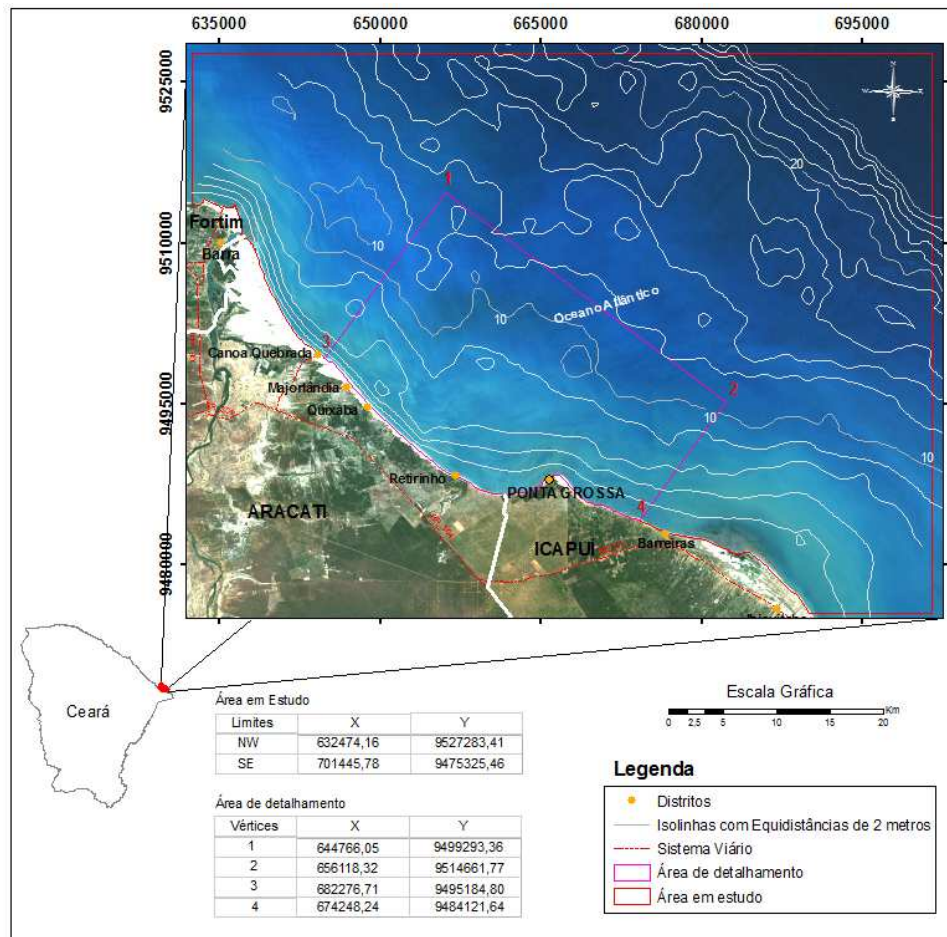
A utilização integrada de diferentes tecnologias possibilita desta forma, a identificação de possíveis recursos minerais marinhos, como: Areias, utilizadas em recomposição de praia; Carbonato de cálcio, direcionado para produção de remédios e alimentos; e principalmente, a identificação de ambientes análogos propícios a ocorrência, geração e acumulação de hidrocarboneto, atualmente, principal fonte de energia. Essas técnicas reduzem o custo na fase de exploração de hidrocarboneto e, conduzem à melhores tomadas de decisões na fase de exploração, obtendo-se assim, um melhor aproveitando desses recursos minerais e energéticos marinhos disponíveis, atenuando possíveis impactos ambientais provocados no mar e no ambiente bentônico, oriundos dessas atividades de exploração e exploração.

Rotineiramente utilizadas na América do Norte, Europa, Austrália, etc, atualmente essas ferramentas estão sendo empregadas sistematicamente e apresentando resultados satisfatórios no Estado do Rio Grande do Norte, como mostram os trabalhos de (Lima 2006; Tabosa 2002, 2006; Frazão 2003; Vital. *et al* 2005, 2008), entre outros.

## 1.4. Localização da Área em Estudo

A área de trabalho está inserida na Plataforma Continental Brasileira, ao largo do Estado do Ceará nas adjacências da localidade de Ponta Grossa, abrangendo parcialmente os municípios de Fortim, Aracati e Icapuí (CE). Delimita-se pela linha em vermelho, a qual terá uma área de detalhamento determinada pelos vértices 1, 2, 3 e 4 como mostra a figura 1.1, abrangendo uma área de aproximadamente 222 Km<sup>2</sup>.

O acesso à área, saindo de Fortaleza se dá pela via CE-025 até o município de Pindoretama. Seguindo para sudeste na CE-040, passando pelos municípios de Cascavel e Beberibe, até chegar ao município de Fortim e saindo de Fortim em direção a Icapuí pela BR-304 (Figura 1.1).



**Figura 1.1 – Mapa de localização da Plataforma Continental Cearense ao largo dos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí (CE), área de estudo e área de detalhamento.**

## *1.5. Estado da Arte*

A evolução do conhecimento sobre os oceanos teve seu início com os avanços da ciência e da tecnologia, a partir dos grandes descobrimentos marítimos no século XV, tendo como principal fonte técnicas artesanais e empíricas. Uma melhoria nas técnicas de navegação ocorreu principalmente no decorrer da Revolução Industrial e do advento da energia a vapor, as quais deram “luz” às grandes investigações científicas marinhas atuais.

Em meados de 1800, inicia-se o desenvolvimento de técnicas em batimetria dos oceanos e a primeira carta batimétrica de mar profundo foi publicado por Maury em 1842, servindo de base para o lançamento do primeiro cabo telegráfico transatlântico (Dias & Figueiredo Jr, 2004).

Sob direção de Thomson, foi realizada uma importante expedição global para estudar o fundo dos oceanos, “H.M.S. Challenger” (1872-1876), que pode ser considerada como a precursora no fornecimento de informações que serviriam para consolidar os fundamentos da Geologia Marinha. As publicações dos relatórios advindos desta expedição fizeram referência a John Murray como o pai da moderna geologia marinha e impulsionou os trabalhos no âmbito da geologia marinha brasileira, para reconhecimento dos sedimentos de fundo da margem continental brasileira (Dias & Figueiredo Jr, 2004).

O desenvolvimento do ecobatímetro para localização de submarino durante o período que antecedeu a Segunda Guerra Mundial proporcionou um avanço na medição da profundidade das águas oceânicas, que antes eram realizadas pelo método bastante impreciso, de fio a prumo (Dias & Figueiredo Jr, 2004).

No período intermediário as duas grandes guerras mundiais foram desenvolvidas um aparelho de medição da gravidade nos oceanos (gravímetro) que proporcionou a descoberta das anomalias de gravidade negativa, associadas às fossas oceânicas profundas, fundamentando a teoria da deriva continental (Dias & Figueiredo Jr, 2004).

Em 1886 foi criada a atual Diretoria de Hidrologia e Navegação (DHN) do ministério da Marinha do Brasil incumbida em fazer sondagens e cartas de navegação. A DHN iniciou importantes levantamentos batimétricos da costa brasileira, os quais têm sido continuamente atualizados (Freire & Cavalcanti, 1998).

No ano de 1958 a geologia marinha foi introduzida nas Universidades Brasileiras através da Fundação do Instituto de Biologia Marinha e Oceanografia da Universidade de Recife (Freire & Cavalcanti, 1998). Os primeiros mapas de distribuição de sedimento de fundo foram apresentados por Coutinho & Morais (1968), a partir das análises das amostras coletadas no nordeste, pelos cruzeiros N-NE I e II.

De modo a congregar diversas universidades e instituições governamentais interessadas nas pesquisas geológicas da margem continental brasileira foi criado em 1969 o Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), tendo também como colaboradores o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a DHN, o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e a PETROBRAS. No mesmo ano foi realizada a primeira das 25 operações GEOMAR realizadas até o presente momento, resultando em um total de 3.100 amostras coletadas (Dias & Figueiredo Jr, 2004).

O projeto REMAC foi iniciado em 1972, constituindo-se no mais abrangente levantamento da margem continental brasileira, envolvendo a PETROBRÁS, DNPM, CPRM, DHN, CNPq, várias universidades brasileiras, como o Instituto Oceanográfico-Universidade de São Paulo (USP), Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a universidade americana Woods Hole Oceanographic Institution e Lamont Doherty Geological Observatory da Universidade de Columbia (EUA). Os resultados dos estudos realizados na primeira fase do Projeto REMAC foram publicados em 11 volumes (Série Projeto REMAC).

Trabalhos bastante completos foram publicados por Freire *at al* (1984), a respeito dos aspectos oceanográficos, faciológicos, geoquímicos e paleogeográficos da plataforma continental cearense, com base nas amostras coletadas na Operação GEOMAR XVIII e complementadas com os dados da Operação Gemar XXI em 1985.

O plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC), instituído em 1988 propiciou um enorme acervo de dados sobre batimetria de precisão, sísmica de reflexão multicanal, gravimetria e magnetometria, importantes para o conhecimento da estrutura da nossa margem continental, objetivado por estabelecer o limite externo da plataforma continental. Os dados geofísicos do LEPLAC foram

integrados com dados geológicos por Campos (1992), para o delineamento da base do talude na margem continental do Ceará.

O Projeto de Avaliação dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Interna do Estado do Ceará foi iniciado em 1993, sendo executado através de cooperação técnica entre o DNPM e a UFC. Foi efetuado o mapeamento dessa zona, bem como o estudo de *placers* de minerais pesados e áreas mais propícias para a exploração de areias quartzosas e algas calcárias, dando origem a várias publicações (Cavalcanti *et al*, 1993; Cavalcanti & Freire, 1994; Cavalcanti *et al*, 1996, Freire & Cavalcanti, 1998).

Em 1995, o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA) dando seqüência às diretrizes do IV Plano Setorial de Recursos do Mar (PSRM), iniciou os estudos sobre a caracterização física e química da plataforma continental, bancos e áreas oceânicas que fazem parte da plataforma continental jurídica, o denominado projeto REVIZEE. Dentro desse projeto foram realizadas as Operações Nordeste I e II.

Em 1997 foi aprovado o Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira – REMPLAC pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar e criado o Comitê Executivo para o REMPLAC. O Comitê está constituído atualmente por representantes das instituições MME, MB, EMA, DHN, MRE, MCT, MMA, SECIRM, DNPM, CPRM, PETROBRÁS e PGGM. O MME é o coordenador operacional do REMPLAC, através da CPRM e o PGGM é o coordenador científico, através de suas 15 instituições de ensino superior (Filho, N.O.H., <http://www.propp.uff.br/pggm/>).

Em 1997, no Brasil, o número de profissionais trabalhando com o mar, independente de sua especialidade, era de 1(Um) profissional para cada 18km de linha de costa, ou seja, uma área de 80 km x 80 km para cada profissional (Silva *et al.*, 2004). Em detrimento ao desenvolvimento da indústria do petróleo e gás houve um acréscimo no investimento de novas tecnologias e formação de novos profissionais altamente capacitados, culminando em uma mudança neste cenário. Atualmente, portamos não só de profissionais altamente qualificados como também de um poderio tecnológico que vem sendo aplicado na exploração e exploração de recursos minerais e energéticos marítimo, assegurando-nos o direito sobre o mar.

## 1.6. Aspectos Físicos

### 1.6.1. Aspectos Físicos

A zona costeira cearense é influenciada pelo regime climático equatorial, semi-árido e recebe influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul (Figura 1.2). Informação adquirida através do site da FUNCCEM.

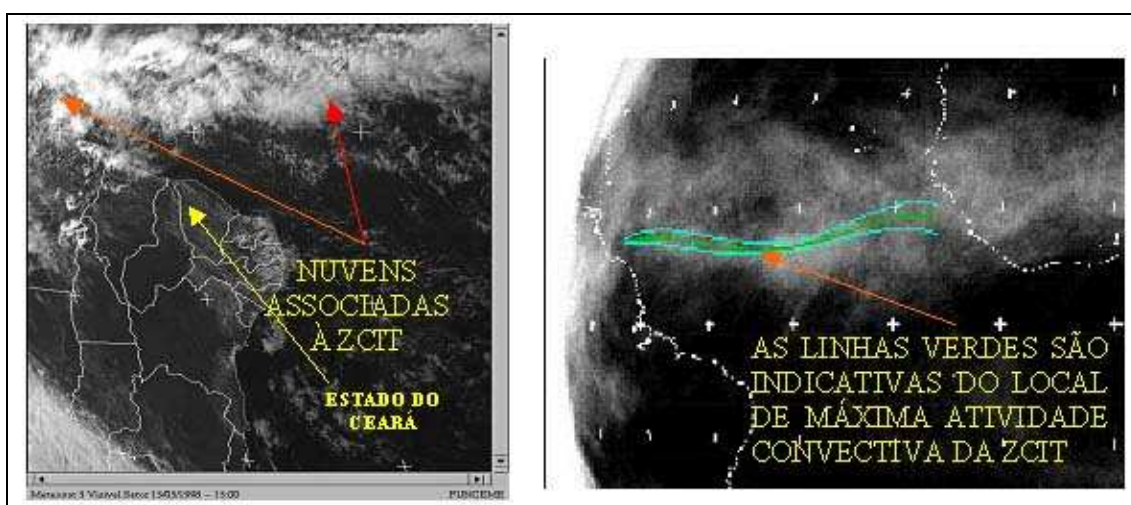


Figura 1.2 - Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ilustrada a partir das imagens de satélite METEOSAT-7. Fonte: [www.funccem.br](http://www.funccem.br), acessado no dia 19 de Setembro de 2008.

As chuvas, da região Nordeste brasileira, recebem forte influência da ZCIT, e são também influenciadas pelas frentes frias, entre os meses de novembro e janeiro.

Observa-se, com base nos dados fornecidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCCEM), da estação meteorológica de Icapuí, que as chuvas concentram-se principalmente nos seis meses consecutivos, que seguem de janeiro a junho, com máximas nos meses de março, abril e junho e escassez no período de julho a dezembro. Atingindo principalmente a porção central do nordeste e os oceanos (Figura 1.3 e 1.4).

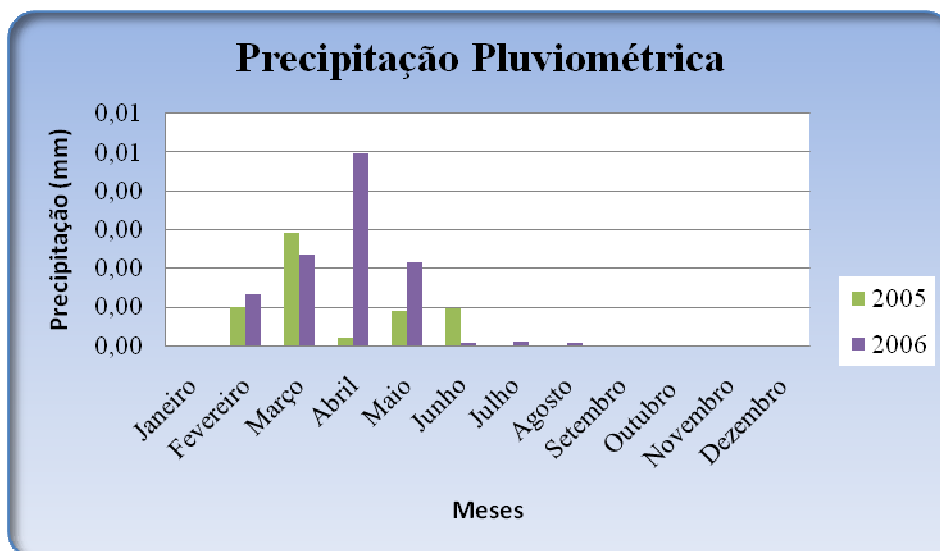


Figura 1.3 – Médias mensais de precipitação pluviométrica durante o período de 2005 e 2006. Fonte: FUNCEME/Estação Icapuí.

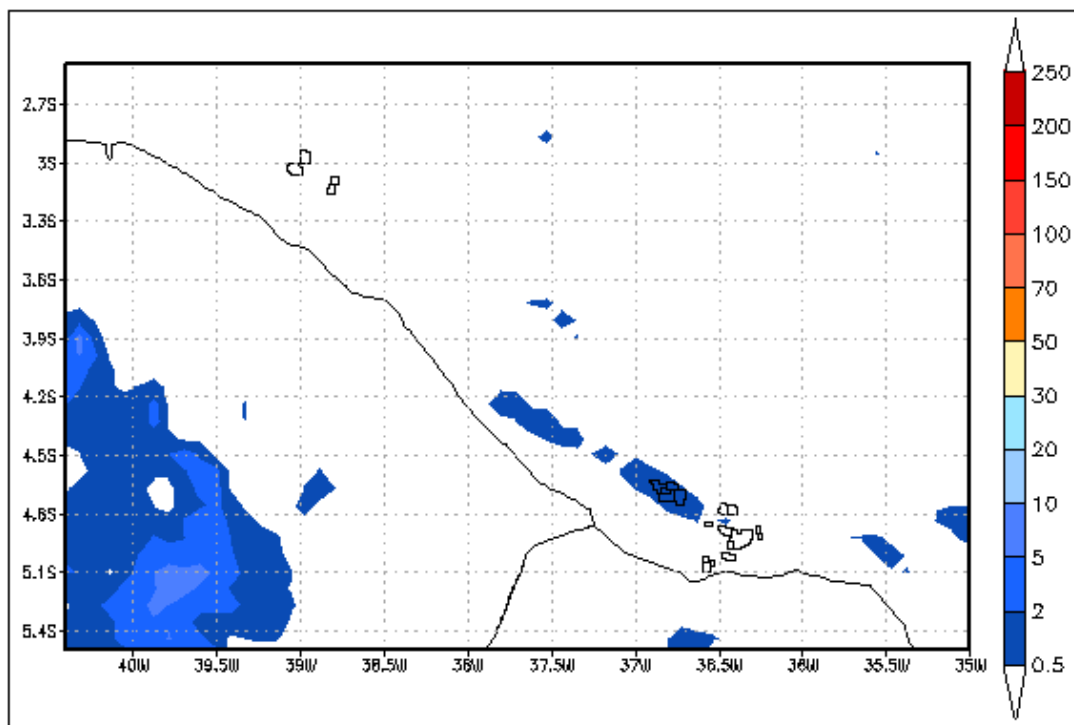


Figura 1.4 – Precipitação acumulada (mm) entre 02/09/2008 e 02/09/2008 06Z nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Fonte: <http://lumis.bc.ep.petrobras.biz>.

No município de Icapuí a temperatura média anual registrada durante o período de 2004 a 2006 esteve em torno de 27,39°C (Figura 1.5). Com máximas em torno de 30,4°C e mínima em torno de 23,76°C, como mostra a figura 1.6a de setembro de 2008. No mesmo período, em Aracati, foi registrado máxima de aproximadamente 30,5°C e mínima de aproximadamente 23,5°C (Figura 1.6b).

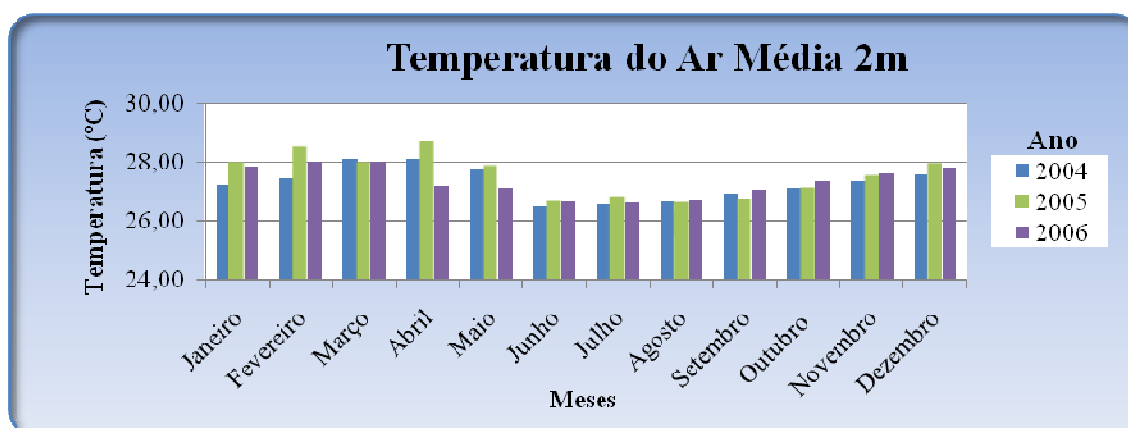


Figura 1.5 – Médias mensais de temperaturas do ar durante o período de 2004 a 2006. Fonte: FUNCEME/Estação Icapuí.

a) ICAPUI			b) ARACATI		
19/09/2008	20/09/2008	21/09/2008	19/09/2008	20/09/2008	21/09/2008
Temperatura			Temperatura		
Mín: 23.8 °C Máx: 29.7 °C	Mín: 23.7 °C Máx: 30.5 °C	Mín: 23.8 °C Máx: 31.0 °C	Mín: 23.4 °C Máx: 29.8 °C	Mín: 23.4 °C Máx: 30.7 °C	Mín: 23.7 °C Máx: 31.3 °C
Velocidade do Vento			Velocidade do Vento		
Mín: 6.2 m/s Máx: 8.0 m/s	Mín: 6.8 m/s Máx: 8.3 m/s	Mín: 6.7 m/s Máx: 8.5 m/s	Mín: 4.5 m/s Máx: 7.0 m/s	Mín: 5.3 m/s Máx: 7.0 m/s	Mín: 5.2 m/s Máx: 7.0 m/s
Umidade			Umidade		
Mín: 58.6 % Máx: 84.1 %	Mín: 49.3 % Máx: 82.1 %	Mín: 44.4 % Máx: 82.1 %	Mín: 57.9 % Máx: 85.6 %	Mín: 47.1 % Máx: 81.3 %	Mín: 41.8 % Máx: 81.3 %
Previsao Modelo RAMS 6.0			Previsao Modelo RAMS 6.0		

Figura 1.6 – Máximas e mínimas da temperatura, velocidade do vento e umidade registrada nos dias 19, 20 e 21 de 2008 para: a) município de Icapuí/CE e b) município de Aracati/CE. Fonte: <http://lumis.bc.ep.petrobras.biz>.

A umidade relativa do ar nos períodos de 2005 e 2006 apresentou máximas nos meses de março, abril e maio. Com mínimas no período de setembro, outubro e novembro (Figura 1. 7).

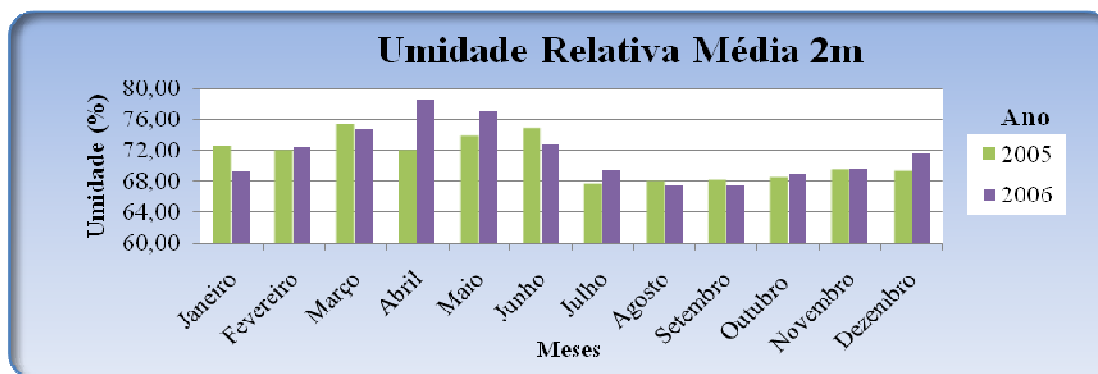


Figura 1.7 – Umidade relativa do ar no período de 2000 a 2004. Fonte: FUNCEME/Estação Icapuí.

Para o período de 2004 a 2006 a radiação apresentou-se relativamente constante com maiores intensidades nos meses de setembro, outubro e novembro (Figura 1. 8). Entretanto a pressão atmosférica, no período de 2004 a 2006, apresentou máximas nos meses de junho, julho e agosto (Figura 1. 9).

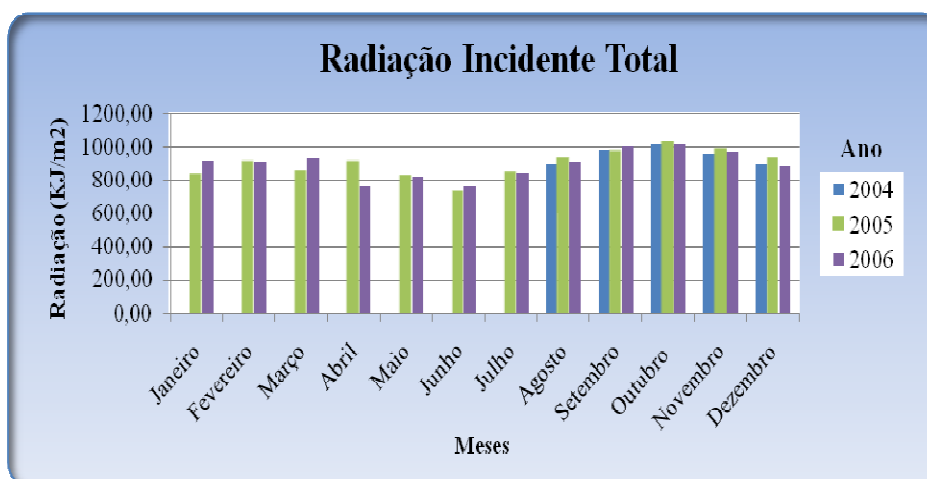


Figura 1.8 – Radiação incidente total durante o período de 2000 à 2004. Fonte: [www.funceme.br/estaçãoicapuí](http://www.funceme.br/estaçãoicapuí).

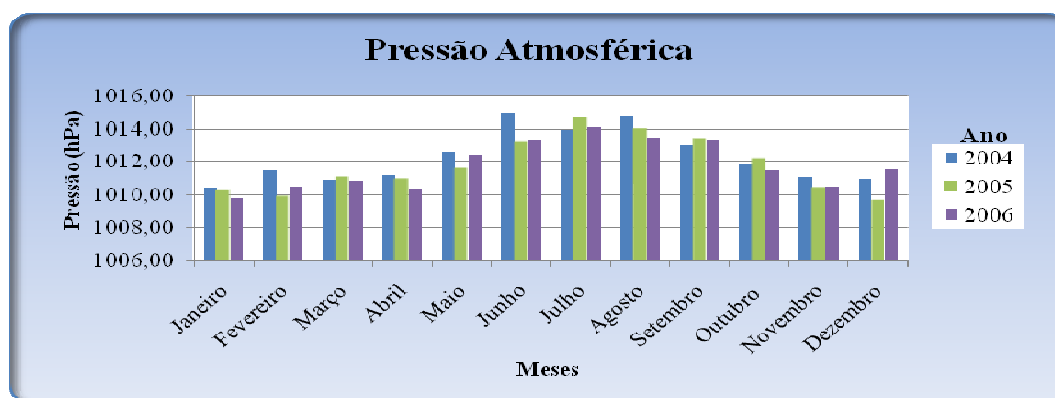


Figura 1.9 – Pressão atmosférica no período de 2004 à 2006. Fonte: [www.funceme.br/estaçãoicapuí](http://www.funceme.br/estaçãoicapuí).

### 1.6.2. Observações Oceanográficas

Os ventos de alísios do nordeste, ao movimentar a massa de água superficial entre os trópicos, geram as correntes equatoriais que dominam os oceanos, definida pelo efeito de *Coriolis* e massa do continente.

Os ventos geram uma movimentação horizontal na superfície da água com influência em subsuperfície, atingindo uma média de 100 m de profundidade e cessando após atingir esta profundidade. Outra movimentação das massas de água é a termoalina, resultante da diferenças de densidade da água devido à variação de temperatura (termo) e salinidade (halina), que apresentam um movimento vertical. A interação entre a circulação superficial e a termoalina ocorre quando águas superficiais, ricas em oxigênio e mais densas, descem a regiões do oceano profundo, como podemos observar na figura 1.10.

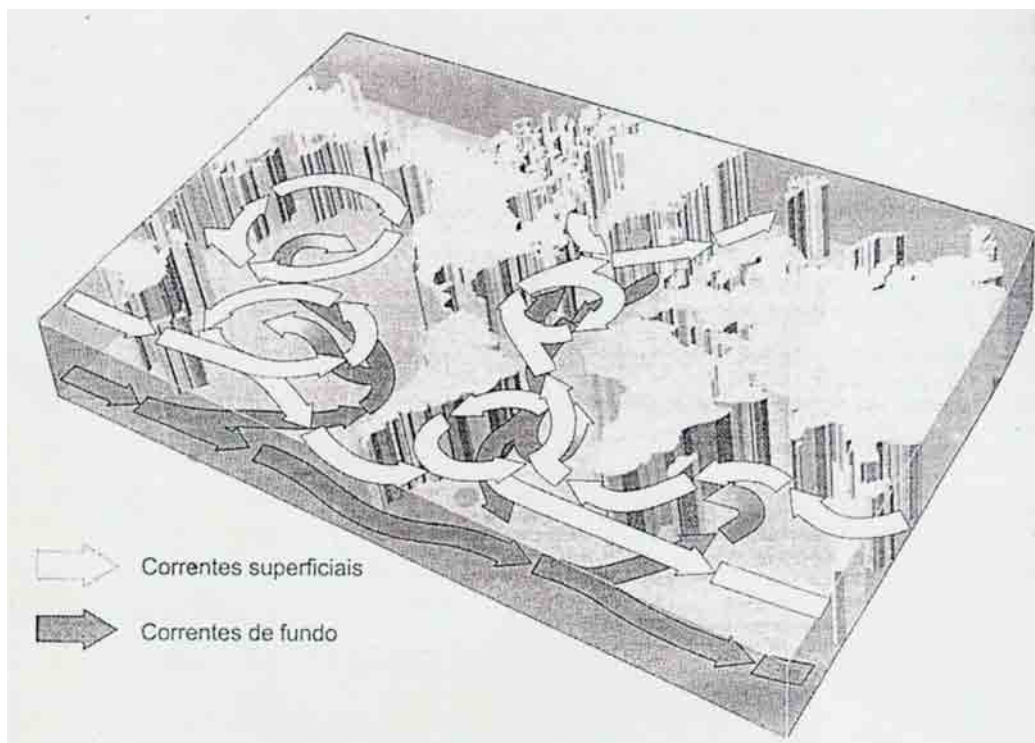
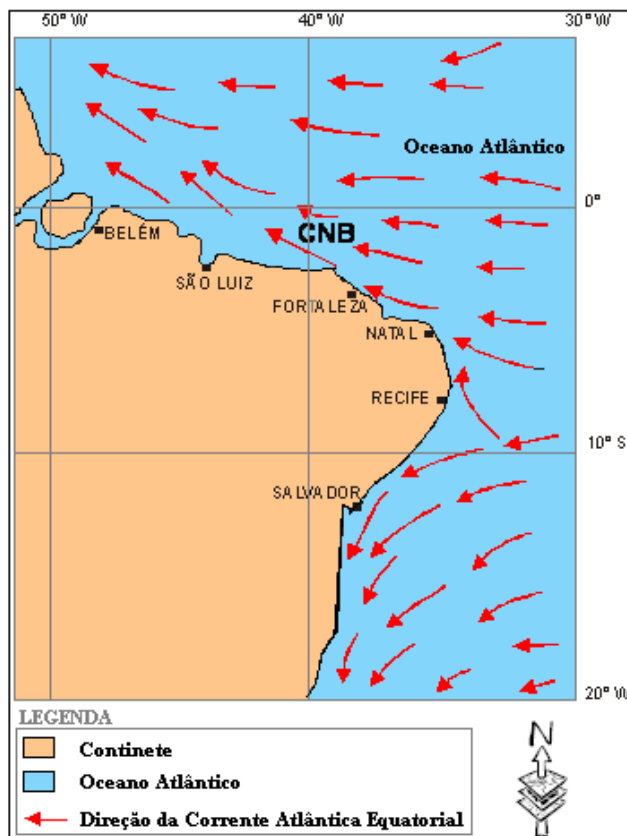


Figura 1.10 – Ciclo global da circulação oceânica mostrando a integração entre a circulação superficial e a termoalina (modificada de Thurman, 1994). Fonte: Patchineelam, 2004.

A Plataforma Continental ao largo do Estado do Ceará é banhada pela corrente Norte Brasileira (ramo da corrente Atlântica Equatorial), correntes oxigenadas e salinas, que atingem a costa brasileira entre as cidades de Recife e Natal, fluindo de ESE para

WNW (Figura 1.11). Essas correntes juntamente com a influência dos ventos alísios promovem um fluxo em direção noroeste, sendo este fluxo mais intenso no inverno quando os ventos alísios de sudeste são mais intensos (Oliveira, 2007).



**Figura 1.11 – Distribuição das correntes permanentes da região Nordeste do Brasil. Consultada em Freire (1985). CNB: Corrente Norte Brasileira.**

Os ventos na região nordeste do Brasil são controlados pela ZCIT. Nas estações situadas nas proximidades do município de Icapuí (CE) foram registradas, no período de 2004 a 2006, velocidade média do vento em torno de 5,12 m/s (Figura 1.12) e direção predominante leste-sudeste (Figura 1.13 e 1.14).

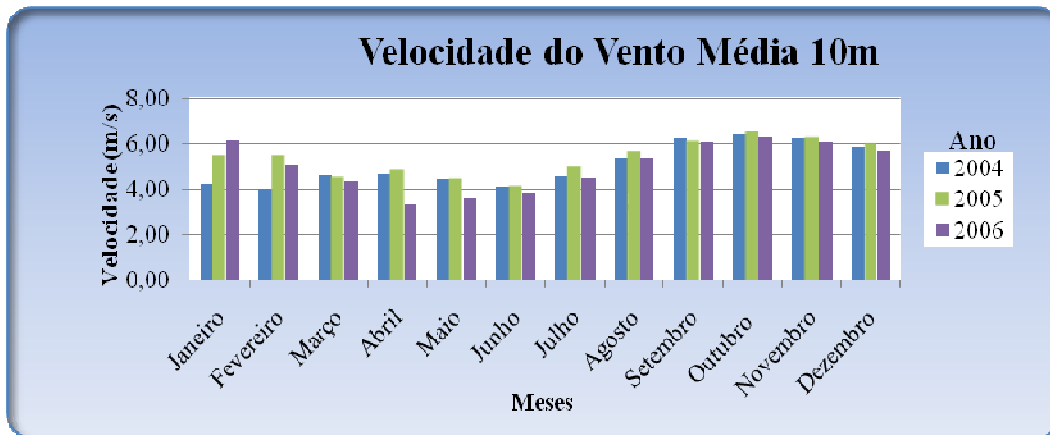


Figura 1.12 – Velocidade média do vento a 10 metros de altura durante o período de 2004 a 2006. Fonte: FUNCEME/Estação Icapuí.

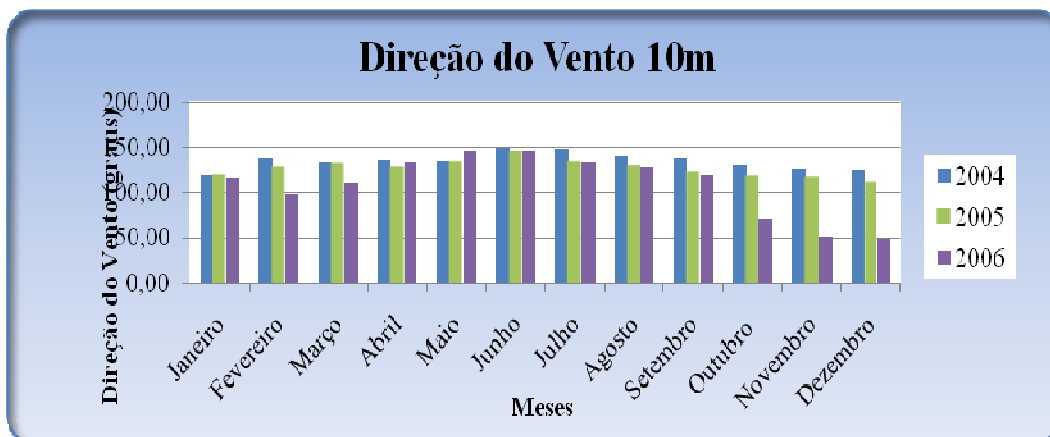


Figura 1.13 – Direção do vento a 10 metros de altura durante o período de 2004 a 2006. Fonte: FUNCEME/Estação Icapuí.

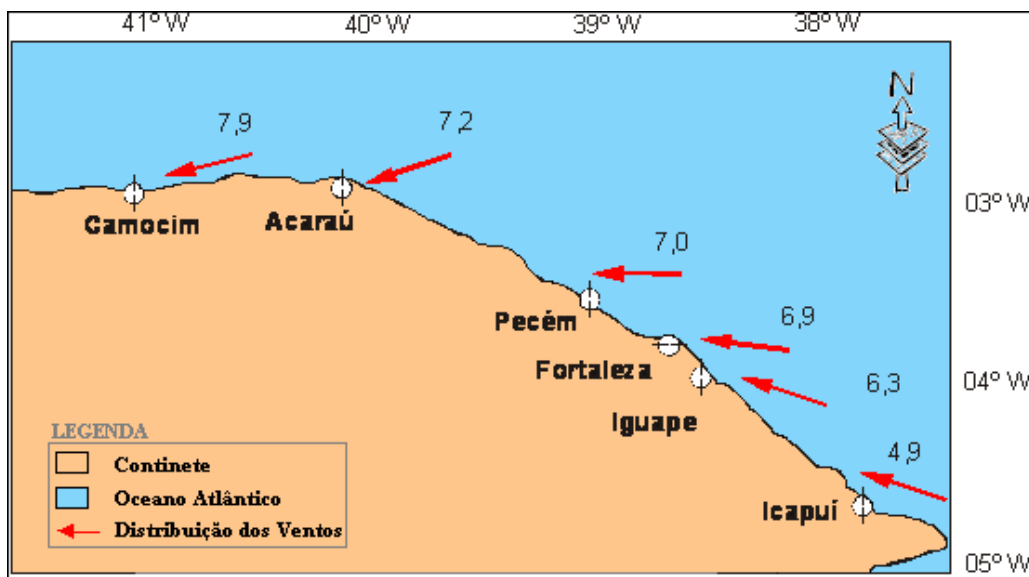


Figura 1.14 – Exemplo da distribuição e velocidade (m/s) dos ventos na costa cearense. Adaptada de Maia (1998). Consultado em Oliveira, 2007.

As ondas que atingem a costa cearense geram uma corrente de deriva litorânea com direção preferencial para NW. Segundo Maia (1998), as correntes apresentam velocidades variando entre 0,24 e 0,31 m/s nas cercanias do Porto de Mucuripe. Em termos de ondas, os dados são restritos à costa de Fortaleza, onde praticamente todas as ondas registradas são do tipo *sea*, ou seja, geradas por influência dos ventos locais.

A formação da maré no Porto de Mucuripe – Fortaleza e, por extensão, nas zonas costeiras adjacentes, são influenciadas pelo caráter semidiurno. Dentro dos dados obtidos por um marégrafo ali instalado, no período compreendido entre abril de 1995 e julho de 1996, identificou-se uma amplitude máxima de 3,23 m durante uma maré de sizígia em dezembro de 1995 e uma amplitude mínima de 0,75 m durante uma maré de quadratura em março de 1996 (Maia, 1998).

A temperatura média das águas superficiais em profundidades inferiores a 20 metros, da plataforma continental cearense, é bastante homogênea durante o período de baixa pluviosidade, ocorrendo o contrário, durante os períodos chuvosos, devido à diminuição na incidência de raios solares na superfície dos oceanos, ocasionado presença de nebulosidade nesse período. Nesta região a temperatura apresentando médias de 26°C para toda a coluna d'água (Freire & Cavalcanti, 1998).

A plataforma interna apresenta concentrações de material em suspensão variando entre 0,85 mg/L a 2,05 mg/L (Freire & Cavalcanti, 1998). As maiores concentrações ocorrem nas proximidades das desembocaduras dos grandes rios, como podemos observar na imagem de satélite LANDSAT 5 TM+ de 1999, processada nesta dissertação (Figura 1.15), onde o material em suspensão é representado em tons de amarelo claro.

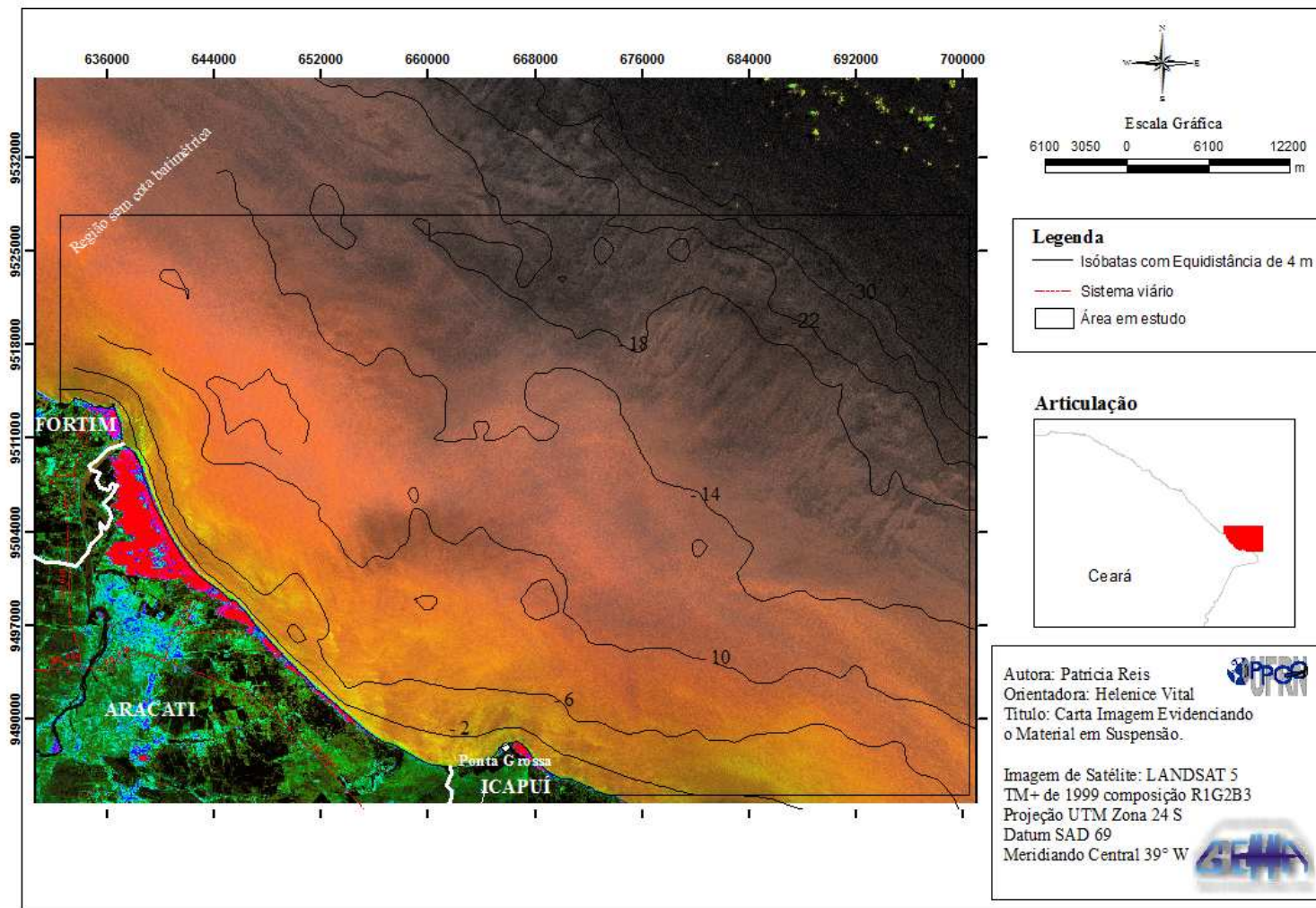


Figura 1.15 – Carta imagem da plataforma continental ao largo do Estado do Ceará a partir da imagem de satélite LANDSAT 5 TM+ de 1999, composição RGB123.

---

## CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

### 2.1. Introdução

A geologia da área, proposta nesta dissertação, encontra-se inserida no contexto tectono-estratigráfico da bacia sedimentar Cretácea, Bacia Potiguar.

A Bacia Potiguar tem sua evolução tectônica relacionada aos esforços extensionais durante o Cretáceo Inferior (Neocominiano), com conseqüente rifteamento que culminou com a separação das placas sul-americana e africana.

Esta Bacia, localizada no extremo Nordeste Brasileiro, abrange grande parte do estado do Rio Grande do Norte e uma pequena porção do estado do Ceará. Segundo Bertani *et al.* (1990), esta bacia cobre uma área de aproximadamente 48.000 km<sup>2</sup>, sendo 21.500 km<sup>2</sup> pertencentes as áreas emersa e o restante pertencente a plataforma e ao talude continentais até a isóbata de 2.000 m.

Geologicamente a Bacia Potiguar é limitada a sul pelas rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino. A plataforma de Touros define seu limite a leste com a Bacia Pernambuco-Paraíba (Figura 2.1), enquanto a plataforma de Aracati define seu limite a oeste com a Bacia do Ceará (Sub-Bacia de Mundaú) e por fim a norte a bacia encontra-se limitada pelo oceano Atlântico, até a isóbata de 2000 m (Soares *et al.*, 2003).

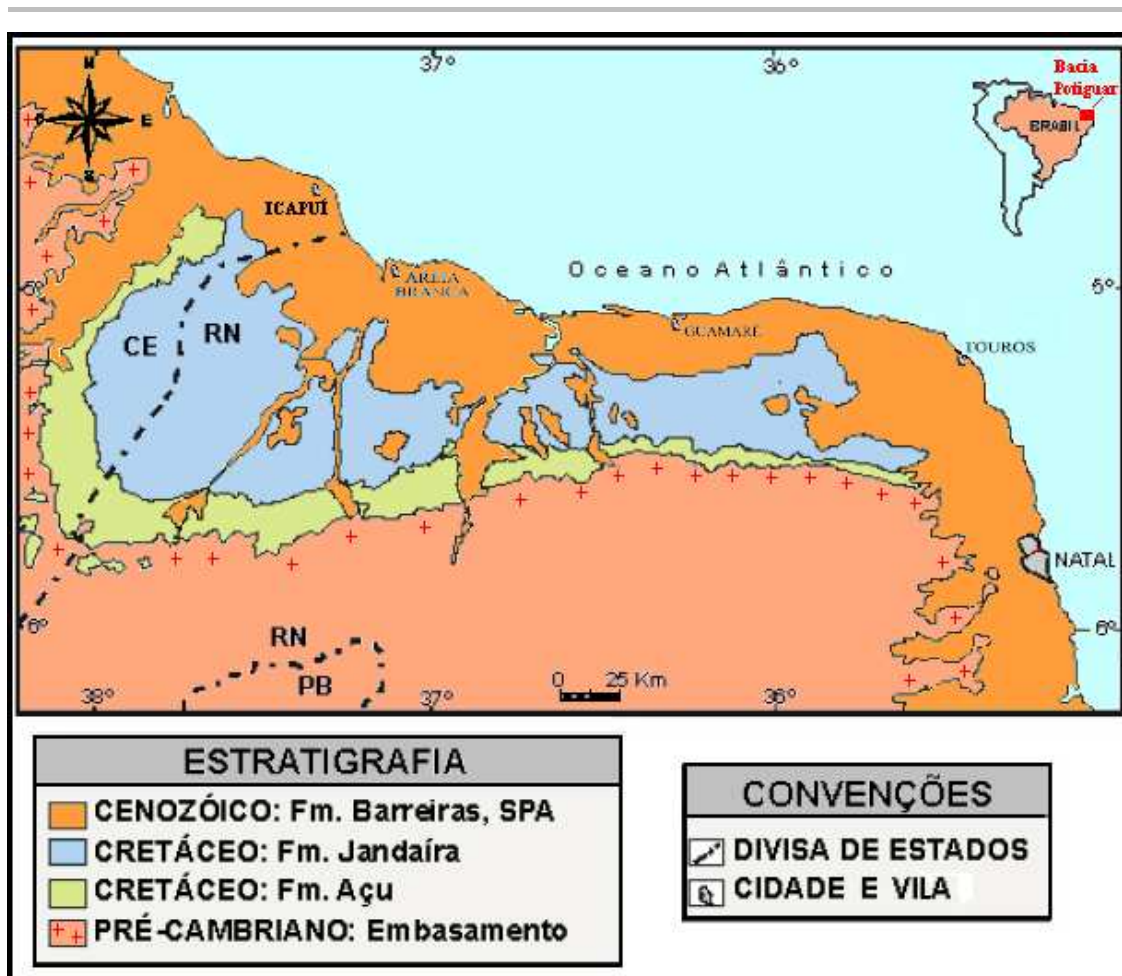


Figura 2.1 - Mapa geológico simplificado da Bacia Potiguar. SPA, sedimentos de praia e aluviais. (Modificado de Dantas, 1998).

## 2.2. Arcabouço Estrutural

A Bacia Potiguar é controlada por falhas profundas, que continuam na direção da plataforma continental, onde se desenvolve uma sedimentação de margem passiva (Angelim *et al.*, 2007).

Segundo Bertani *et al.* (1990), a Bacia Potiguar pode ser subdividida em três unidades estruturais básicas (*grabens* assimétricos, altos internos e plataforma do embasamento), com um *graben* central de *trend* NE (*Graben* de Pendência), contendo depósitos da fase *rife*, ladeado por duas zonas pouco estruturadas, as plataformas de Touros e de Aracati, nas quais o embasamento cristalino é mais raso e esta capeado diretamente por depósitos da fase de deriva continental (Figura 2.2).

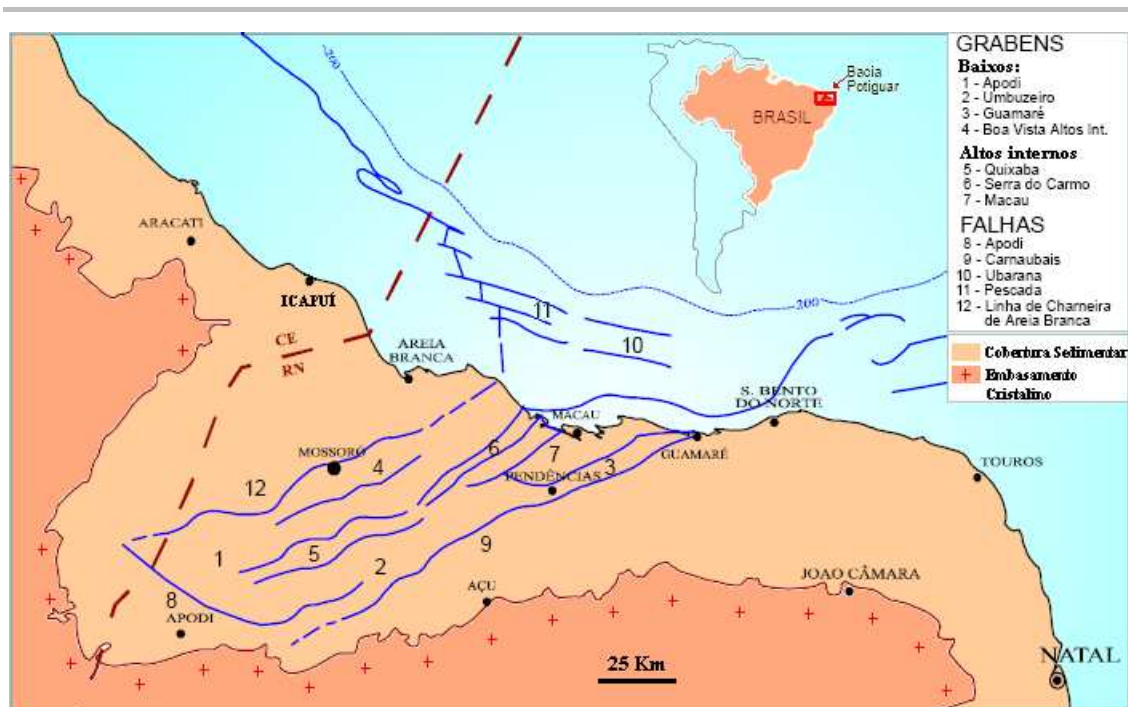


Figura 2.2 – Mapa do arcabouço tectônico da Bacia Potiguar (Modificado de Cremonini *et al.*, 1996).

Dentre os *grabens* da porção emersa, temos o Apodi, Umbuzeiro, Guamaré e Boa Vista, de geometria linear com eixos orientados na direção NE-SW, encontrando-se levemente oblíquos aos principais lineamentos de direção NNE-SSW, no embasamento a sul da bacia. Esses baixos encontram-se separados pelos altos internos do embasamento (Quixaba, Serra do Carmo e Macau). Os *grabens* da porção submersa são assimétricos e possuem *trend* E-W ao largo do litoral potiguar, defronte ao *rifte* emerso, e NW-SE ao largo do litoral cearense, controlados por falhas de direção geral WNW (falhas de Ubarana e Pescada), formando plataformas marginais rasas que bordejam o *graben* central em ambos os lados onde está ausente o pacote do Eocretáceo. No setor cearense, há ocorrência de *grabens* alagados segundo E-W, são: Fortaleza, Messejana e Jacaúna (Bertani *et al.*, 1990).

Os altos internos separam os principais *grabens* e se formaram em decorrência da flexura em blocos de teto rotacionados de falhas normais lítricas, com a formação de falhas normais antitéticas para o alívio da tensão. São compostos por blocos de gnaisses, migmatitos ou xistos soerguidos por falhas normais. Os principais altos internos são os Altos de Quixaba, Serra do Carmo e Macau (Bertani *et al.*, 1990).

Plataformas rasas do embasamento, como Aracati e Touros, flanqueiam os *grabens* centrais a leste e a oeste, respectivamente. Normalmente, são recobertas por sedimentos do Aptiano e Cretáceo Superior na parte terrestre e também por seqüências terciárias na parte marítima (Bertani *et al.*,1990).

### 2.3. Evolução Tectono-Sedimentar

Bertani *et al.* (1990) baseado na coluna litoestratigráfica proposta por Souza (1982) agrupou as rochas da Bacia Potiguar em três seqüências tectono-sedimentares principais: rifte, transicional e drifte. Durante a primeira fase, a subsidência e a sedimentação foram controladas por mecanismos de extensão e afinamento crustal, enquanto nas duas últimas fases o resfriamento da crosta e o balanço isostático foram os controles basicamente atuantes (Bertani *et al.*, 1990).

Durante o estágio rifte (Neocomiano/Aptiano) se formaram os principais grabens assimétricos, onde se estabeleceram lagos de profundidades moderadas. Representando o estágio inicial de uma sedimentação tipicamente flúvio-lacustre (Matos *et al.*, 1987), constituída por progradações de arenitos deltaicos, de planície fluviais ao longo do eixo dos grabens ou a partir dos seus flancos menos abruptos a nordeste (Figura 2.3). Ao longo das escarpas depositaram-se fan-deltas e fan-glomerados. A secção lacustre consistiu de folhelhos ricos em matéria orgânica, intercalados com turbiditos (Secção incluída na Formação Pendência) (Bertani *et al.*, 1990).

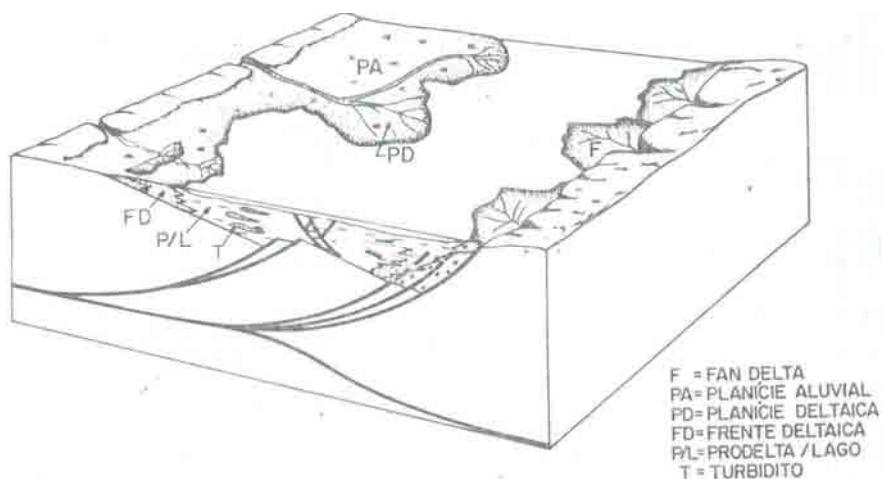
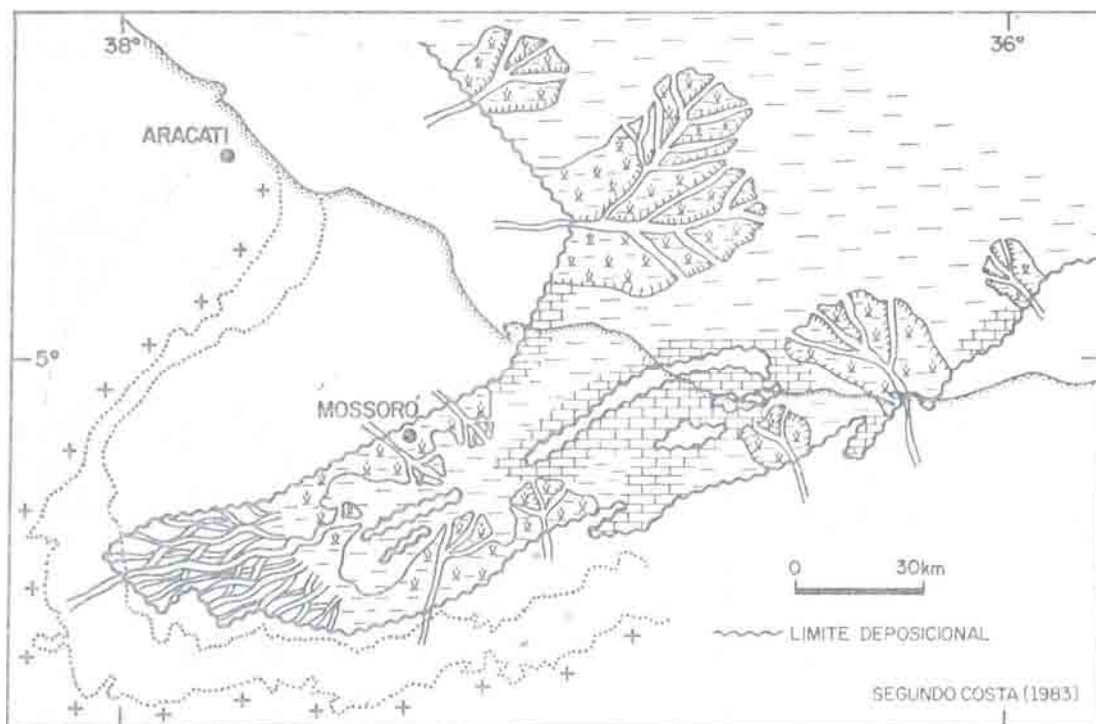


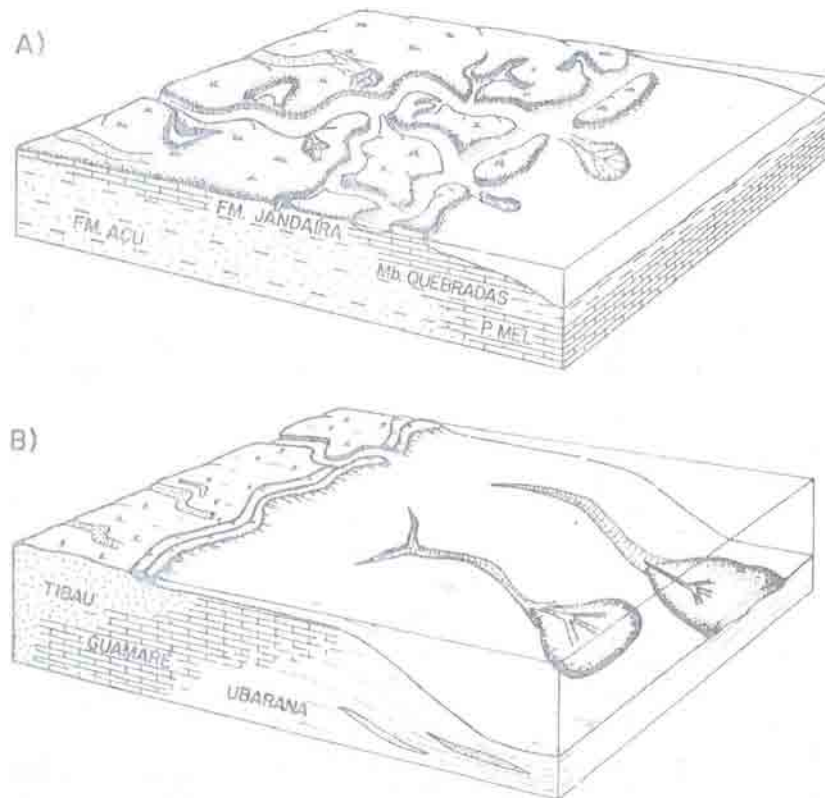
Figura 2.3 – Ambiente deposicional do estágio rifte. Modificado de Matos (1987-B).

Durante o estágio transicional (Aptiano/Albiano) a sedimentação ocorre em um ambiente tectônico calmo, preenchendo os principais baixos assimétricos formados durante o Neocomiano. A Formação Alagamar foi depositada nesse estágio, que consiste de folhelhos e carbonatos lagunares restrito com influência marinha (chamada de Ponta do Tubarão), intercalados com arenitos deltaicos (Figura 2.4), que na região proximal apresentam fácies mais grossas (Costa *et al.*, 1983).



**Figura 2.4 – Ambiente deposicional do estágio transicional. Segundo Costa (1983).**

Durante o estágio drifte (Albiano/Plioceno) duas seqüência sedimentares foram depositadas em ambiente de deriva continental e sob influência do mar aberto (Figura 2.5). Uma seqüência de natureza transgressiva, composta de arenitos fluviais grossos a médios interdigitados com, e sobreposta por folhelhos transicionais a marinhos e carbonatos de plataforma rasa (Figura 2.5a). Esta unidade é litoestratigraficamente incluída nas Formações Açú, Jandaíra, Ponta do Mel e no Membro Quebradas da Formação Ubarana. Outra seqüência deposicional regressiva ou progradacional de arenitos costeiros, carbonatos de plataforma e folhelhos marinhos rasos a profundos com turbiditos intercalados, incluídos nas Formações Tibau, Guamaré e Ubarana (Figura 2.5b) (Bertani *et al.*, 1990).

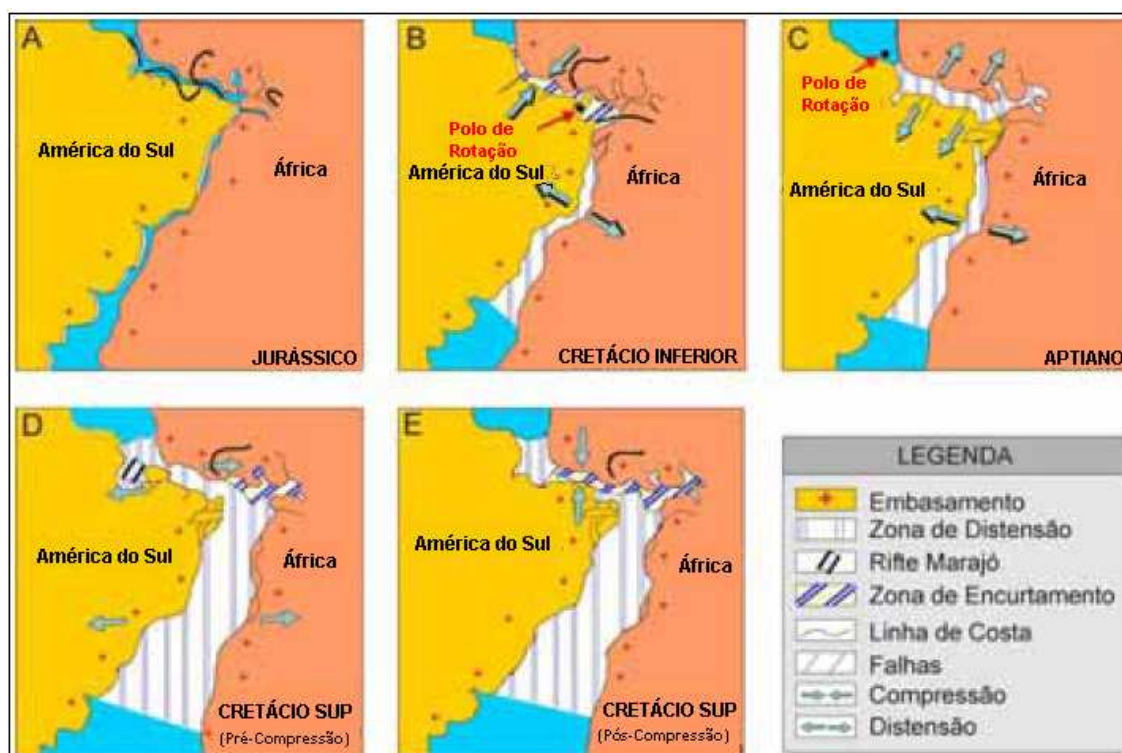


**Figura 2.5 – Ambiente deposicional durante o estágio drifte: a) unidade transgressiva, b) unidade regressiva ou progradacional. Segundo Bertani & Costa (1988).**

## ***2.4. Evolução Tectono-Estrutural***

A Bacia Potiguar tem sua gênese relacionada à separação entre a América do Sul e África, condicionada por movimentações divergentes de direção E-W (Figura 2.6a) no início do Jurássico superior. Onde ouve uma rotação diferencial dextral, a divergência da parte sul era maior do que na parte norte causando uma rotação no sentido horário, admitindo um regime de esforços com distensão norte-sul e compressão leste-oeste, o que proporcionou o desenvolvimento desta bacia sob regime transtensional (Françolin e Szatmari, 1987). Durante o Cretáceo inferior, na Província Borborema, ouve uma inversão da movimentação, que antes divergente passou a ser compressivo de direção E-W e distensivos N-S (Figura 2.6b), gerando e reativando falhas. No Aptiano, a rotação horária continuou enquanto esforços de caráter distensivo, de direção N-S, atuavam na Província Borborema (Figura 2.6c). Esse regime interrompeu sedimentação na porção emersa da bacia e continuou o rifteamento na porção submersa, com falhas de direção E-W e deposição de uma seqüência proto-oceanica. Já no Albiano, inicia-se uma

movimentação de caráter divergente com direção E-W (Figura 2.6d), que ocasionou um cisalhamento transcorrente/transformante dextral na Margem continental Brasileira, proporcionando a entrada do mar Albiano nas bacias dessa margem. Entre o Albiano e o Campaniano instala-se uma seqüência marinha transgressiva na Bacia Potiguar. Após o Campaniano, a reativação de falhas da bacia parece estar ligada a um evento compressivo de direção N-S (Figura 2.6e), que na Bacia Potiguar está caracterizado pelo soerguimento da plataforma carbonática e reativação de diversas falhas (Françolin e Szatmari, 1987).



**Figura 2.6 – Evolução da separação dos continentes Sul-Americano e Africano, proposta por Françolin e Szatmari (1987).**

Segundo Matos (2000), a fragmentação do Gondwana se deu em três estágios denominados de Sin-Rifte I e Sin-Rifte II, desenvolvido sob regime predominantemente distensional, e Sin-Rifte III, desenvolvido em regime transtensional. Já quanto ao posicionamento das bacias em relação as zonas transformantes este mesmo autor propõem três estágios principais denominados de Pré-, Sin- e Pós-Transformante.

O estágio Sin-Rifte I (Neojurássico) refere-se ao início da deformação distensional, com a deposição de clásticos em uma ampla depressão denominada de

Depressão Afro-Brasileira, seção esta sem registro na Bacia Potiguar (Soares e Rossetti, 2005).

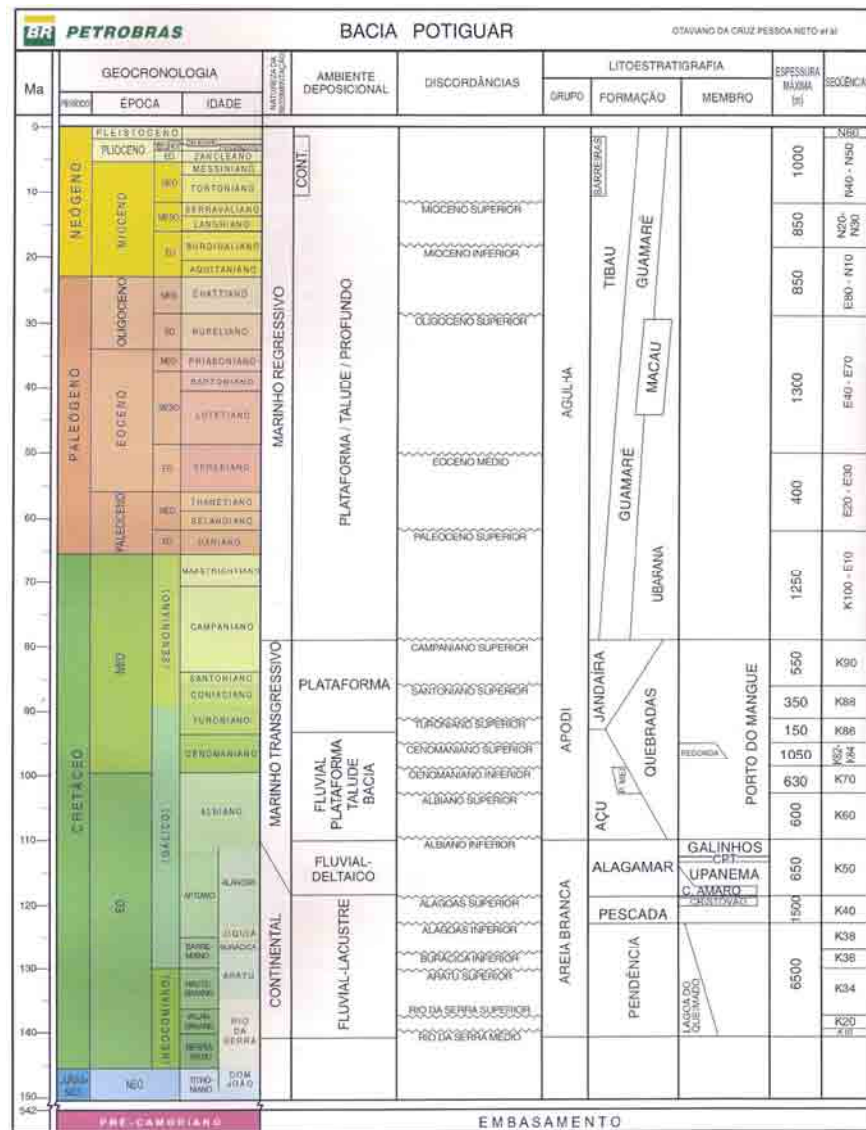
O estágio Sin-Rift II (Neoberriansiano/Eobarremiano) caracteriza-se pelo desenvolvimento de bacias rifte intracontinentais controladas por falhas de rejeito preferencialmente normal, definindo meio-grábens assimétricos tendo sido, neste período, gerado todo o sistema de *riftes* cretáceos do Nordeste brasileiro (Soares e Rossetti, 2005).

No estágio Sin-Rifte III (Neobarremiano/Eoaptiano), o processo distensivo começou a concentrar a deformação ao longo da futura margem continental, causando grande mudança na cinemática rifte. Na Bacia Potiguar, este evento provocou um deslocamento do eixo de rifteamento para a porção submersa da bacia, ao mesmo tempo em que causou um levantamento e erosão (discordância do topo da seção neocomiana/eobarremiana) na porção emersa, que se comporta uma ombreira no novo rifte (Soares e Rossetti, 2005).

O final da fase rifte é marcada pela deposição de seqüência neo-aptiana, representada pelos sedimentos da Formação Alagamar, sobre uma discordância regional (com caráter angular em boa parte da bacia emersa), em resposta ao início da subsidência termal (Soares e Rossetti, 2005).

## ***2.5. Estratigrafia***

Araripe e Feijó (1994) agruparam os litotipos da Bacia Potiguar em três unidades principais, ordenadas da base para o topo em: Grupo Areia Branca (Formações Pendência-Pescada-Alagamar), Grupo Apodi (Formações Açu-Jandaíra-Ponta do Mel-Quebradas) e Grupo Agulha (Formações Uburana-Guamaré-Tibau-Barreiras), com sedimentação ocorrida durante o Neocominiano até o recente (Figura 2.7).



### 2.5.1. Grupo Areia Branca

Compreende a *Formação Pendência* que ocorre na porção emersa e submersa, constituída de arenitos variando de médios a grosso intercalados com folhelhos e siltitos, recobrimdo o embasamento cristalino nas porções mais profundas da bacia (Souza, 1982). Além da *Formação Pescada*, composta por arenitos brancos médios a arenitos cinzento fino com intercalações de folhelhos e siltito cinzento. Está presente no bloco baixo da falha de Pescada. O ambiente deposicional principal é formado por leques aluviais. E por fim a *Formação Alagamar* que subdivide-se em duas: *Upanema* e *Galinhos* separadas pela camada Ponta de Tubarão. O membro Upanema é predominantemente arenoso com intercalações de arenitos e folhelhos. A camada Ponta de Tubarão é composta por calcilitos ostracoidais intercalados com folhelhos cinza esverdeado. O Membro Galinhos é composto essencialmente por argila, com folhelho cinza escuro e calcilito creme. O ambiente deposicional do Membro Upanema, camada Ponta Tubarão e Membro Galinho são sistemas fluviais deltáicos, lagunares e nerítico, respectivamente.

### 2.5.2. Grupo Apodi

Os arenitos médios a grossos intercalados com folhelhos, argilitos e siltitos da *Formação Açú* foram depositados em ambiente continental (leques aluviais entrelaçados e meandantes, além de uma transgressão marinha) e mostram um contato inferior discordante, com o embasamento ou com a *Formação Alagamar*, e raramente com a *Formação Pendência*. Já o contato superior se dá de forma transicional com a *Formação Jandaíra*. Segundo Vasconcelos *et al.* (1990), foram individualizados quatro unidades de correlação na *Formação Açú* denominados de Açú I a Açú IV.

*Formação Ponta do Mel* é composta por calcarenitos creme oolítico, doloepatito castanho claro e calcilitos branco intercalados com camadas de folhelhos verde claro. Ambiente deposicional predominante de plataforma rasa, associada a planície de maré e mar aberto.

A *Formação Jandaíra* é composta por calcarenitos com bioclóstos de moluscos, algas verdes, briozoários e esquinóides, calcarenitos e miliolídeos, calcilitos bioclásticos e calcilitos *birds eyes*. Teve seus litotipos depositados durante a fase drifte da Bacia Potiguar e segundo Silva *et al.* (1994), essas rochas representam um trato de sistemas de nível de mar alto, formado por uma progradação de uma plataforma carbonática.

### 2.5.3. Grupo Agulha

Constituído pela *Formação Ubarana*, espessa camada de folhelho e argilitos cinzentos intercalados por camadas relativamente delgadas de arenitos grossos a finos esbranquiçados, siltitos-castanhados e calcarenitos creme claro de ambientes deposicionais de talude continental e planície bacial. *Formação Guamaré* constituído pelos carbonatos, com calcarenitos creme acastanhados, bioclásticos com intercalações de calcilito, folhelhos e arenitos de ambiente deposicional do tipo plataforma carbonática e talude carbonático. E por fim *Formação Timbau* composta por arenitos grossos e conglomeráticos de ambiente deposicional de leque consteiros.

## 2.6. Formação Barreira

A Formação Barreira é constituído por arenitos médios a grossos depositados em sistemas fluviais entrelaçados, associados com leques aluviais e depósitos litorâneos (Alheiros *et al.* 1988). Segundo Mabesoone (1972), a “Formação Barreira” esta constituído pela *Formação Serra do Martins, Macaíba e Guararapes*. As Formações Riacho Morno e Potengi descritas por Campos e Silva (1965, 1966) caracterizam unidades edafoestratigráficas relacionadas a eventos de intemperismo, capeando respectivamente as formações Guararapes e Macaíba (Tabela 2.1).

Cypriano & Nunes (1968) individualizaram, dentro da “Formação Barreira”, a *Formação Tibau* (uma unidade inferior) e uma unidade superior denominada de “Barreira Indiviso”, separadas entre si por uma discordância.

**Tabela 2.1 – Empilhamento lito e edafoestratigráfico para as rochas da Formação Barreira nos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte (Mabessone *et al.*, 1972).**

	UNIDADE ESTRATIGRÁFICAS		IDADE SUPOSTA
	Litoestratigráfica	Edafoestratigráfica	
<b>Areia Branca</b>			Holoceno
<b>Formação Barreiras</b>	Fm. Macaíba	Intemperismo Potengi	Pleistoceno Superior
	Fm. Guararapes	Intemperismo Riacho Morno	Pleistoceno Inferior
	Fm. Serra do Martins	Intemperismo Laterítico	Plioceno-Mioceno
<b>Embasamento Cristalino</b>		Impemperismo Caulínítico	Pré-Mioceno

## ***2.7. Magmatismo Meso-Cenozóico***

Durante a sedimentação da Bacia Potiguar, ocorreram três episódios vulcânicos:

a) Magmatismo Rio Ceará-Mirim presente na borda da bacia na forma de diques de diabásio de direção E-W, possivelmente correlacionados a fase de abertura do rifte; b) Formação Serra do Cuó na forma, também, de diques de diabásio de tendência alcalina; e c) Formação Macau caracterizada por derrames de olivina-basalto intercalados com as rochas sedimentares das Formações Tibau, Guamaré e Ubarana (Araripe & Feijó, 1994)

## ***2.8. Morfologia da Zona Costeira***

De uma maneira geral, o relevo da zona costeira do Estado do Ceará é relativamente moderado, podendo ser distinguidos três geossistemas principais: planície litorânea, planície fluvial, tabuleiro pré-litorâneo (Campos *at al.*, 2003).

As planícies litorâneas são relativamente estreitas com largura média de 2,5 a 3,0 Km. Compostos pelas seguintes geofácies: faixa praial e terraços marinhos, campos de dunas móveis, dunas fixas e paleodunas, espelhos d'água lacustres e planícies flúvio-marinhas com manguezais.

As Planícies fluviais constituem as faixas de acumulação aluviais das planícies do baixo curso dos rios Jaguaribe, Aracaú, Coreaú, Aracatiaçu, Choró, Pingi, dentre outros. São compostos de areias finas e médias, com inclusões de cascalhos inconsolidados, siltes, argilas e eventuais ocorrências de matéria orgânica em decomposição.

O tabuleiro pré-litorâneo encontra-se entre as planícies litorâneas e as depressões sertanejas circundantes, constituindo as porções centro-meridional dos municípios da costa cearense. É constituído por sedimentos mais antigos oriundos da Formação Barreiras. Apresenta largura média em torno de 25 a 30 km e é composto pelas geofácies: falésias (feições lineares), tabuleiros arenosos e tabuleiros areno-argilosos.

## ***2.9. Plataforma Continental***

Oliveira, P. R. A (2007) relata a existências de duas províncias principais existentes na plataforma continental da área em estudo:

### **a) Província carbonática**

Esta província predomina na área estudada e é caracterizada por possuir concentração maior do que 50% de  $\text{CaCO}_3$ , segundo Freire & Cavalcante (1998), composta principalmente pelas algas calcárias, conchas de moluscos e fragmentos de briozoários, entre outros.

A fácies Areia Bioclástica predomina na região com uma área de aproximadamente 2.093,45  $\text{km}^2$ , principalmente, em profundidades superiores a 10 metros até a isóbata de 30 metros entre os municípios de Fortim e Icapuí, é constituída por algas verdes calcificadas do gênero *Halimeda*. Defronte ao distrito de Barreiras, essa fácies aproxima-se da costa (Figura 2.8).

A fácies Areia Biolitoclástica, com área total de aproximadamente de 1.203,0 km<sup>2</sup>, ocorre como pequenas lentes paralelas a linha de costa entre as profundidades de 5 a 20 metros e entre o município de Fortim e o distrito de Barreiras (Figura 2.8).

A fácies Areia Cascalhosa Bioclástica ocorre defronte a desembocadura do Rio Jaguaribe, município de Fortim, em uma profundidade de aproximadamente de 20 metros e em uma pequena ocorrência na profundidade de aproximadamente 8 metros, totalizando uma área de aproximadamente de 0,1878 km<sup>2</sup> (Figura 2.8).

A fácies Areia Cascalhosa Biolitoclástica é a de menor ocorrência com aproximadamente 0,0511 m<sup>2</sup> apresentando-se como uma pequena ilha defronte ao Rio Jaguaribe, município de Fortim, a uma profundidade aproximada de 5 metros (Figura 2.8).

#### b) Província Siliciclástica

A Província Siliciclástica corresponde à fácies Areia Litoclástica totalizando uma área aproximada de 9.908,2 Km<sup>2</sup>, ocorrendo como uma faixa contínua limitada pela profundidade de 10 metros, excetuando entre os distritos de Barra e Retirinho, onde esta fácies atinge profundidade aproximada de 20 metros (Figura 2.8). A fácies Areia Litoclástica é composta principalmente por areias quartzosas médias com fragmentos de conchas, briozoários e algas calcárias. E, por fim, as fácies Areia Litobioclástica e Areia Cascalhosa Litobioclástica que ocorrem defronte ao município de Fortim, a primeira apresentando, aproximadamente, uma área de 0,0312 km<sup>2</sup> e a uma profundidade 20 metros, enquanto que a segunda, apresenta uma área de 0,0782 km<sup>2</sup> a uma profundidade de 5 metros (Figura 2.8).

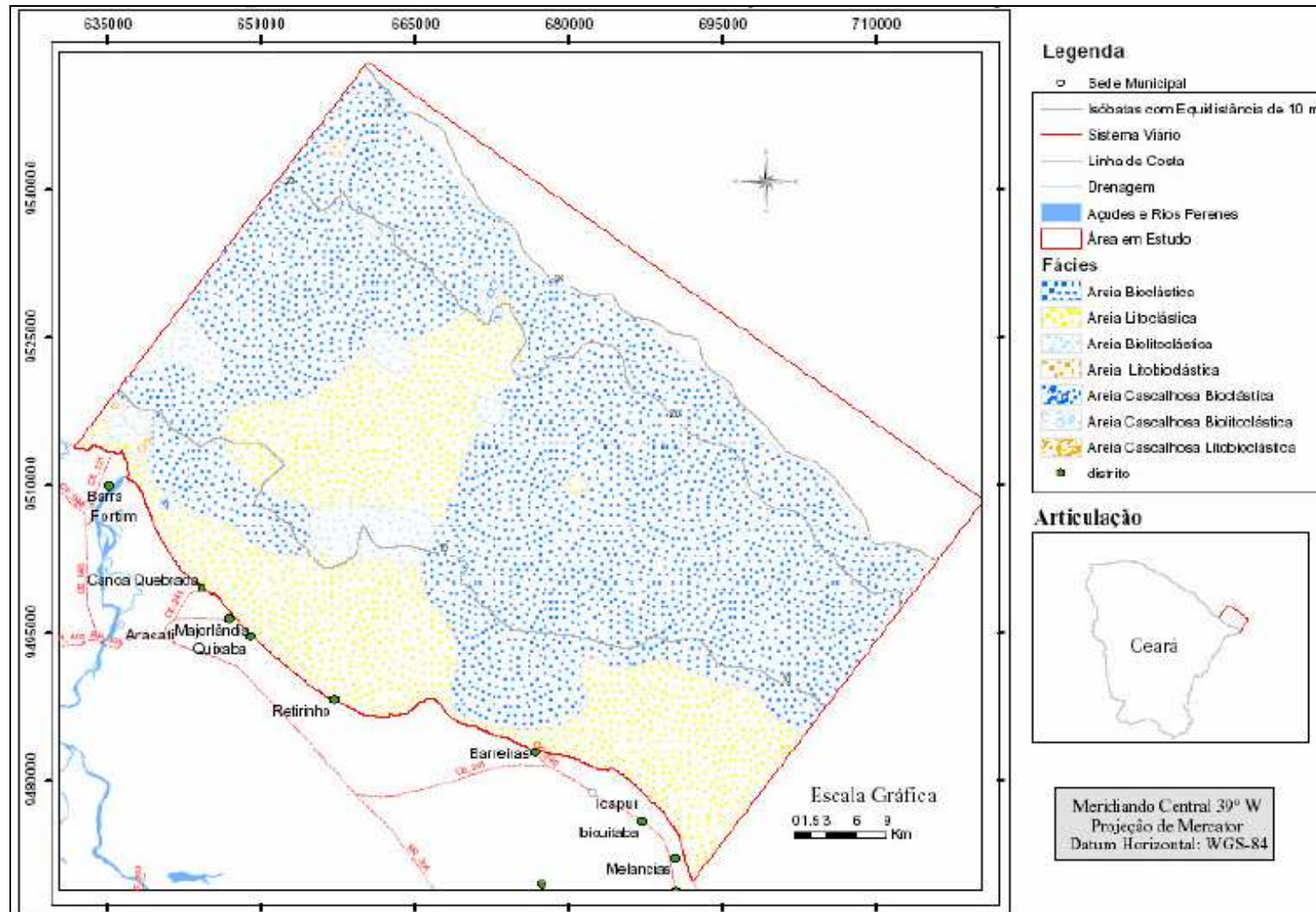


Figura 2.8 – Mapa faciológico da Plataforma Continental Cearense Porção Leste (Oliveira, 2007).

---

## MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades realizadas para elaboração desta dissertação foram subdivididas em 6 etapas: 1) pesquisa bibliográfica; 2) confecção das cartas bases; 3) trabalho de campo; 4) procedimento de laboratório; 5) trabalho de gabinete e 6) integração e análise dos dados. O fluxograma a seguir (Figura 3.1) ilustra a seqüência dos principais procedimentos utilizados para o desenvolvimento desta dissertação.

### *3.1. Pesquisa Bibliográfica*

Inicialmente foi realizado uma pesquisa das dissertações, teses, páginas eletrônicas, periódicos especializados e livros, bem como, levantamento de dados de amostragens geológicas e bases cartográficas já existentes, visando um maior conhecimento da geologia regional da área alvo, bem como o aprofundamento das metodologias utilizadas nas diferentes etapas deste trabalho e aplicações destas em trabalhos com mesma temática.

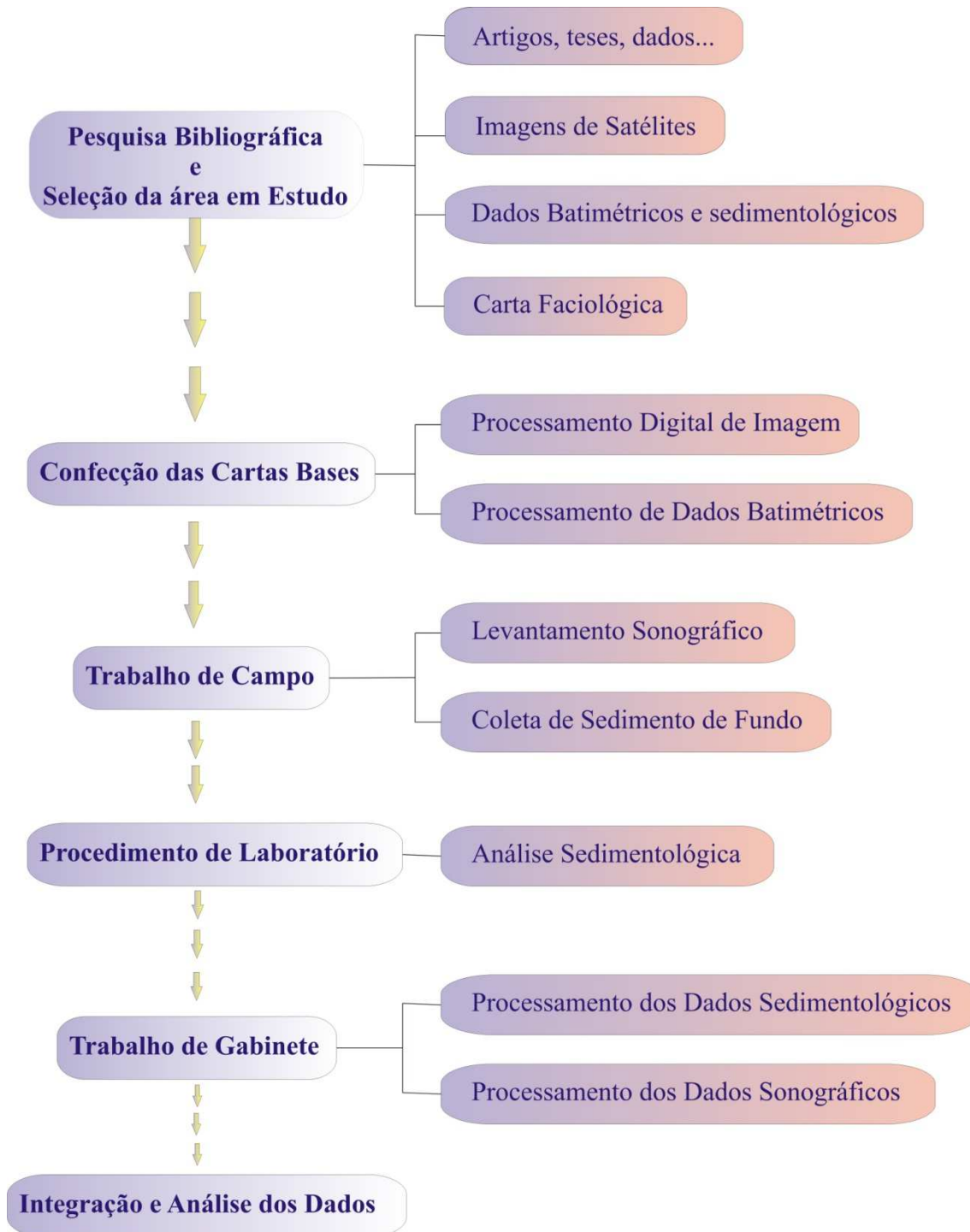
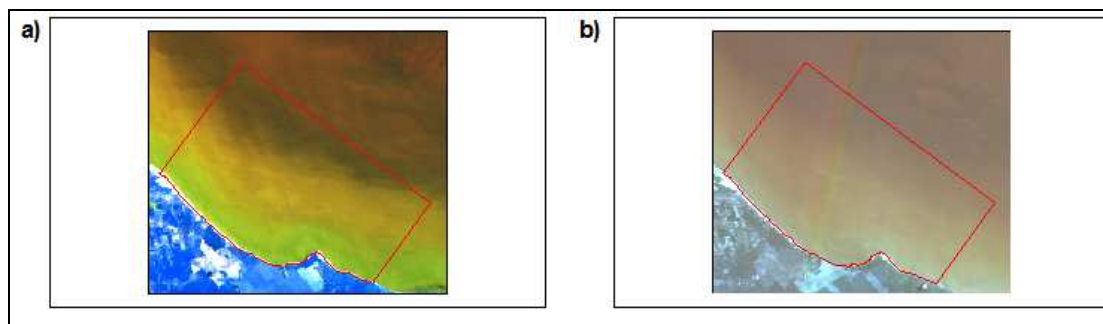


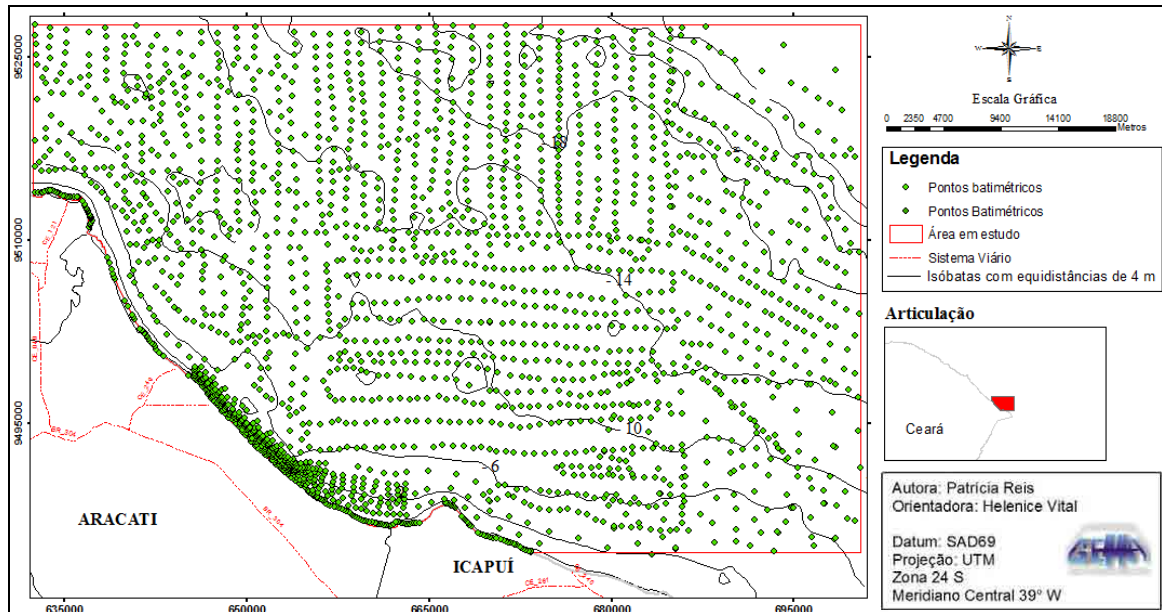
Figura 3. 1 - Fluxograma dos métodos adotados para confecção desta dissertação.

Dentre a pesquisa bibliográfica realizada vale destacar a obtenção das imagens de satélites (Fig. 3.2) do sensor orbital, LANDSAT 5 TM de 07/09/1988, 02/06/1999 e 13/08/2008, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 obtidas a partir da página eletrônica da *Global Land Cover Facility* da *Earth Science*.



**Figura 3.2 - Imagens de satélites utilizadas nesta dissertação. a) LANDSAT 5 TM de 2008; e b) LANDSAT 5 TM de 1988.**

Assim como, os dados batimétricos da região submersa (Figura 3.3) obtidos a partir do banco de dados digitais e analógicos do DVD do National Geophysical Data Center (NGDC) do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), que contém um banco de dados com informações de todos os cruzeiros realizados no mundo desde 1873. Estes dados foram complementados com as cópias heliográficas das Folhas de Bordo em escala de 1:150.000 e Carta Náutica em escala 1:316.000, da Diretoria Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN), cedidas pelo Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA/UFC).



**Figura 3. 3 – Mapa de localização dos dados batimétricos da plataforma continental do estado do Ceará, porção leste.**

Nesta etapa também foram adquiridos os dados sedimentológicos do Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA-UFC). Tais amostras sedimentológicas que compõem a base de dados do LGMA-UFC contém informações do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) obtidos a partir dos cruzeiros: GEOCOSTA I, GEOCOSTA III, GEOMAR XVIII, MAR XV e REMAC realizados no período de 1993 a 2007 (Fig. 3.4).

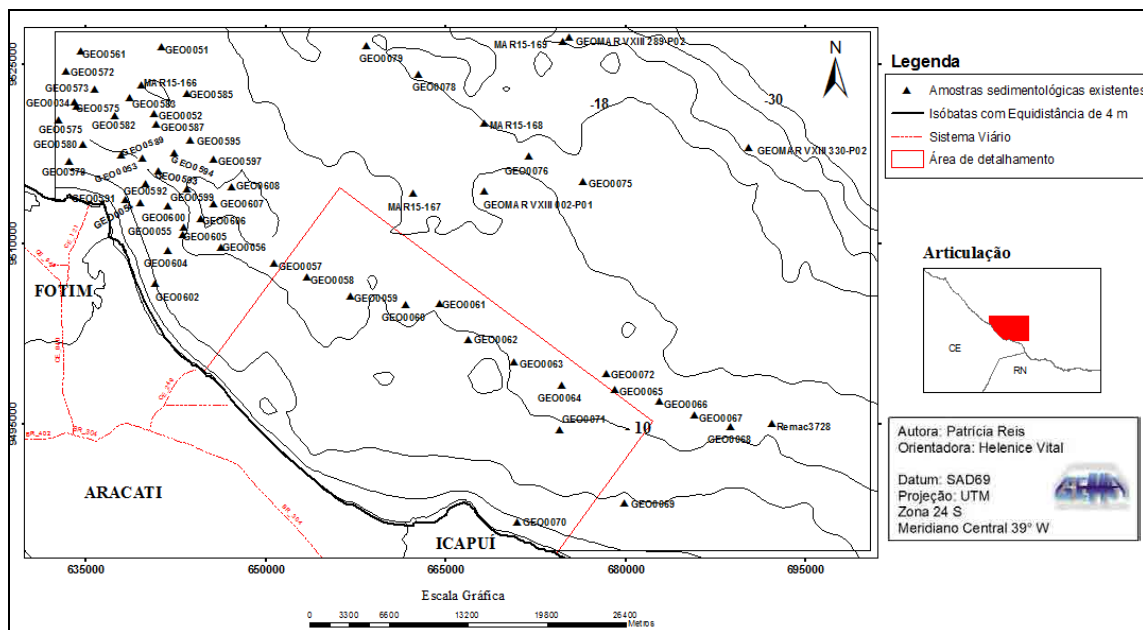


Figura 3. 4 – Mapa de localização das amostras sedimentológicas de superfície cedidas pelo LGMA.

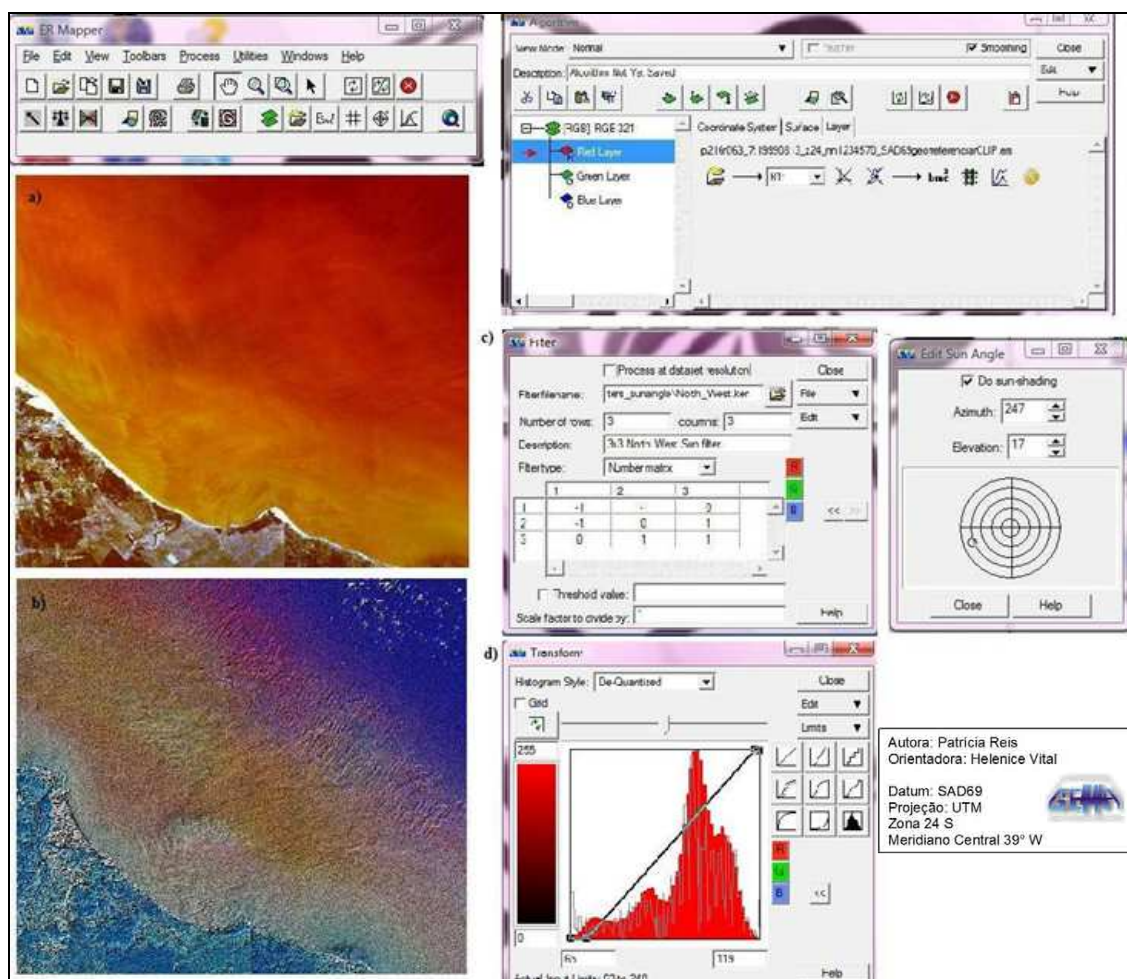
## 3.2. Confecção das Cartas Base

### 3.2.1 - Processamento Digital de Imagem

Objetivando realçar as feições de fundo submarino da área em estudo foram utilizados técnicas de Processamento Digital de Imagem (PDI) e análises dos dados estatísticos nas imagens obtidas supracitadas (Fig. 3.2), utilizando o programa *ER MAPPER 8.0*, disponibilizado pelo Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG).

Inicialmente as imagens multiespectrais foram pré-processadas objetivando uma melhoria na qualidade dos dados. As quais tiveram seus ruídos removidos, imagem realçadas, reduções das dimensionalidades, correções e retificações geométricas por meio de equações polinomiais para a projeção cartográfica *Universal Transverse Mercator* (UTM), SAD69, zona 24S, meridiano central  $-39^{\circ}$ .

Para as bandas 1 (um) e 2 (dois) dos sensores orbitais LANDSAT 5 TM foram aplicadas filtros direcionais NW, Azimutes de  $247^\circ$ , com inclinação solar de  $17^\circ$  e ajuste de histograma (Fig. 3.5). Resultando em uma boa visualização das feições de fundo submarino e constatação da evolução dessas feições em escala temporal.



**Figura 3.5 –** Processamento de dado digital realizado no programa *ER MAPPER 8.0* ilustrando a aplicação de filtros direcionais e ajuste de histograma. a) Imagem multiespectral não processada da imagem LANDSAT 5 TM de 1999; b) Imagem multiespectral processada da imagem LANDSAT 5 TM; c) Filtros direcionais; e d) Ajuste de histograma.

### 3.2.2 - Processamento de Dados Batimétricos

O modelo batimétrico regional da área em estudo foi confeccionado no programa *Surfer 8.0*, a partir do método de interpolação dos valores batimétricos XYZ (métricos). Sendo X e Y as coordenadas geográficas dos pontos e Z a profundidade.

Inicialmente os dados XYZ da porção submersa foram reprojatados para a projeção cartográfica *Universal Transverse Mercator* (UTM), SAD69, zona 24S, meridiano central 39° W e posteriormente analisados estatisticamente para a confecção do modelo digital do terreno.

Os dados batimétricos encontram-se disposto irregularmente no terreno (Fig. 3.3) sendo necessário a geração de uma malha regular (*grid*) de n colunas e m linhas, equidistantes, que se interceptam formando nós. Os nós são novos valores atribuídos a partir da interpolação dos valores originais.

O interpolador utilizado para a geração desses novos dados, na região submersa, foi o método da *Krigagem*, que utiliza ajuste do semi-variograma experimental com o teórico.

Para a construção do semi-variograma experimental e retirado da tendência regional linear, comumente observada nos dados de plataforma continental da área em estudo, onde há um aumento progressivo da profundidade (Z) à medida que nos afastamos do continente em direção a mar profundo, foi utilizado a função matemática quadrática. Para retirada dos dados duplicados (*duplicate data*) foi utilizado uma tolerância para X e Y de 200 metros a partir da escolha do primeiro dado.

O ajuste do semi-variograma experimental ao teórico foi realizado utilizando um estimador variograma do tipo autocorrelação e o modelo *Power*, com anisotropia de raio 1 e ângulo -45 (Fig. 3.6). Obteve-se um ajuste dos semi-variogramas variando de 1/3 a 1/4, com ponto de inflexão com valores aproximados de 2.500, sendo o mesmo considerado satisfatório.

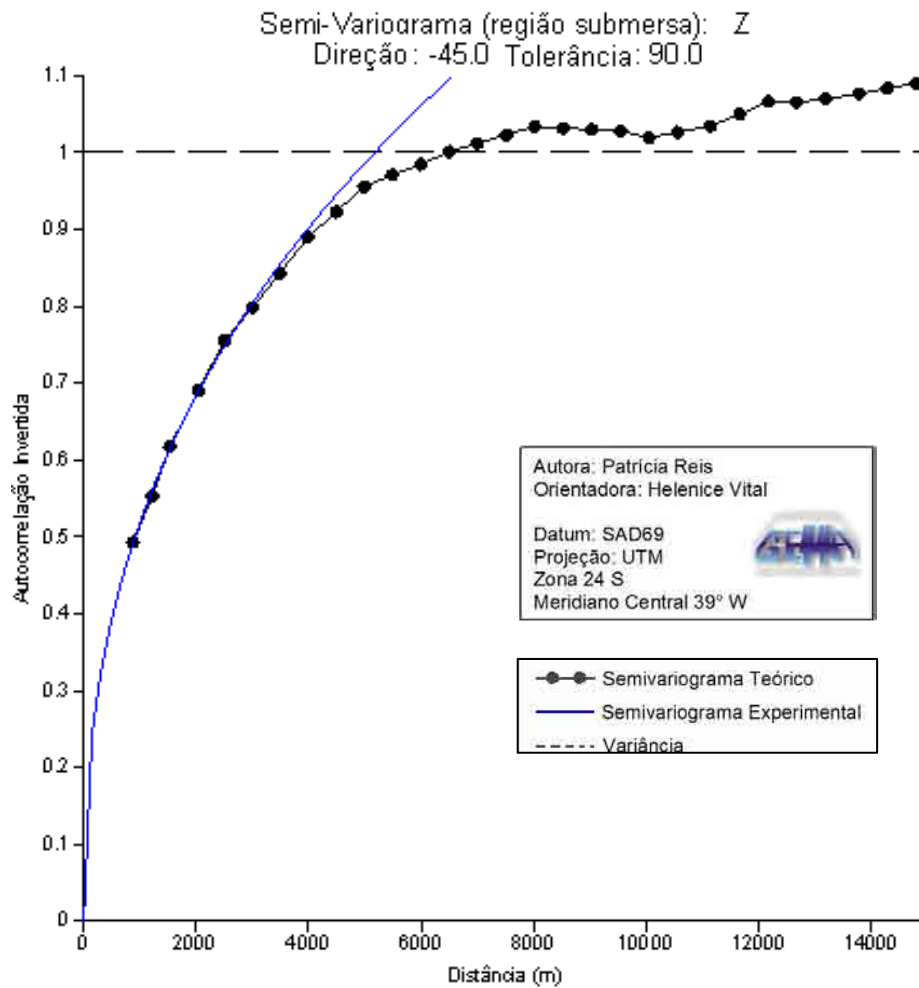


Figura 3. 6 – Semi-variograma dos dados da região submersa com ajuste aproximado de 25%.

O variograma ajustado foi adicionado ao interpolador Krigagem para a geração do *grid*, com uma malha de 41 linhas e 36 colunas e células com espaçamento de 1 Km (Fig. 3.7). O intervalo para gerar os nós foi determinado após tentativas, sendo este o que apresentou menos ruídos. As características do *grid* podem ser observadas na Tabela 3.1.

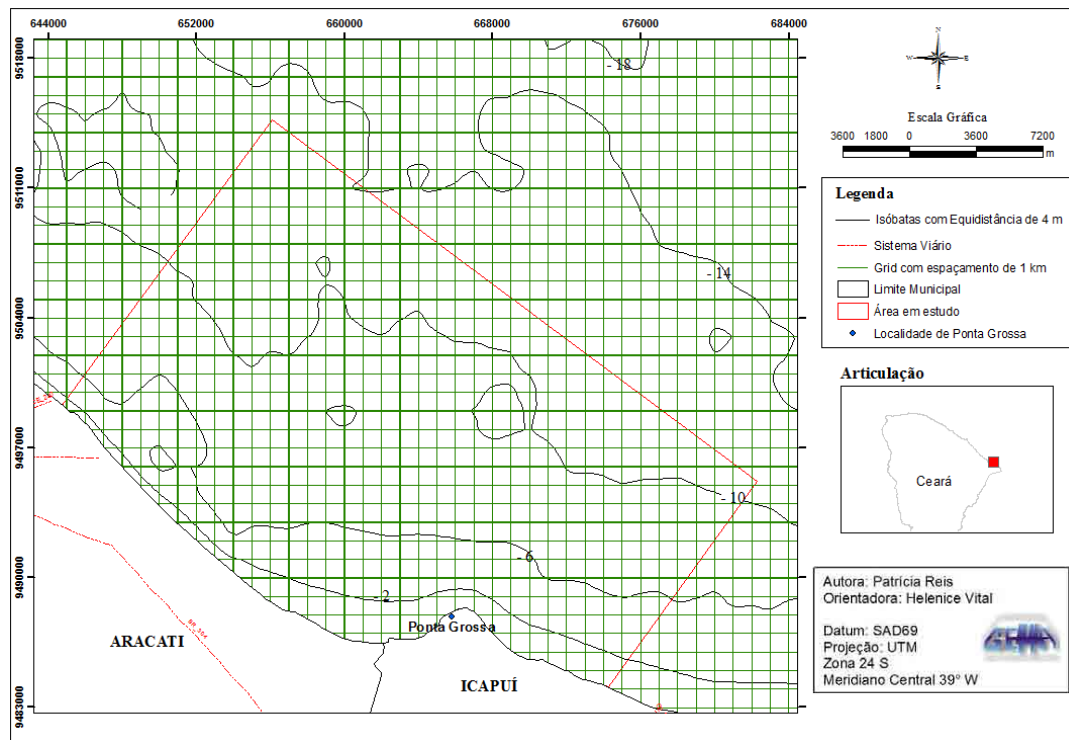


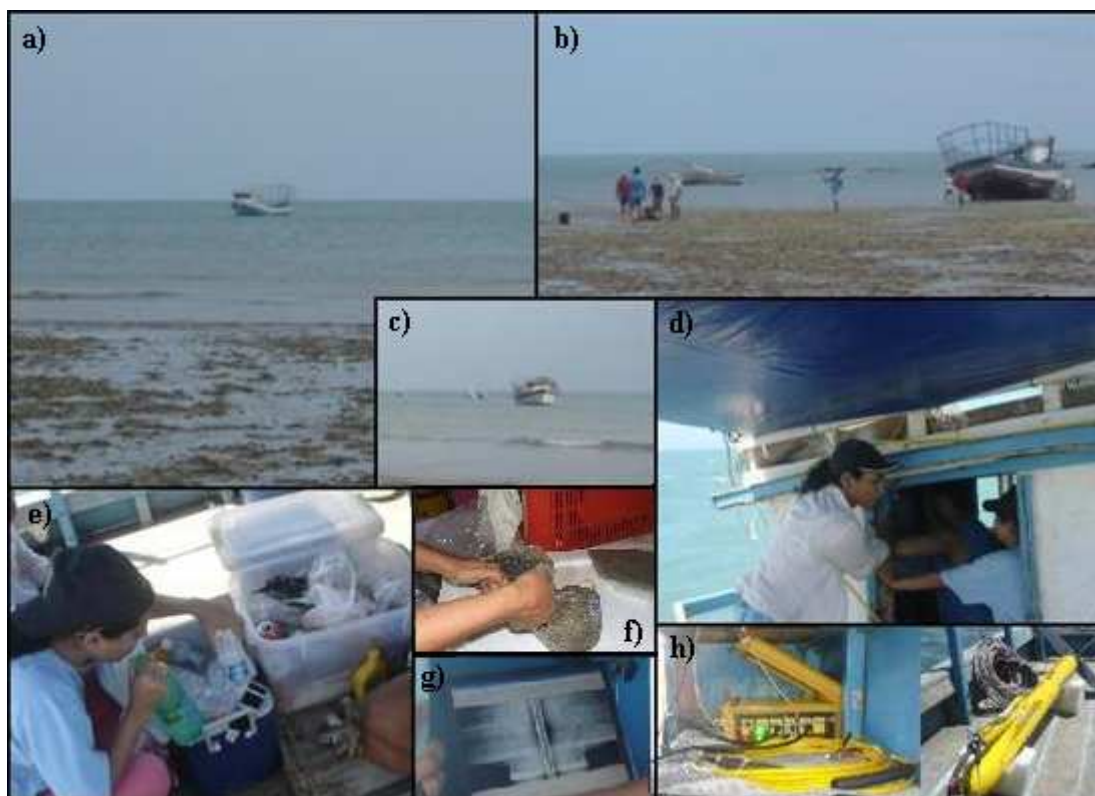
Figura 3.7 – Malha regular (*grid*) dos dados obtido a partir do interpolador Krigagem.

Tabela 3.1 – Parâmetros estatísticos da Krigagem, área em estudo.

SEMI-VARIOGRAMA	INTERPOLAÇÃO
Modelo Matemático: <i>Power</i>	Método de Interpolação: <b>Krigagem</b>
Ângulo de Anisotropia: <b>45</b>	Tipo de Krigagem: <i>Point</i>
Comprimento da Anisotropia: <b>5500</b>	Polinômio de tendência: <b>1</b>
Raio Anisotrópico: <b>1</b>	
Escala do Variograma: <b>1.025</b>	
Potência do Variograma: <b>0.4</b>	

### 3.3. Trabalho de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados em duas etapas distintas, utilizando como meio flutuante embarcação do tipo “lagosteiro” alugada no local (Fig. 3.8).



**Figura 3. 8 - Trabalhos desenvolvidos em campo. a), b) e c) embarcação utilizada; d) instalação dos equipamentos a bordo; e) armazenagem de alimentos e utensílios a bordo; f) acondicionamento de amostras; g) e h) sonar de varredura lateral.**

Os dados foram coletados somente na área de detalhamento, porção mais rasa da plataforma continental interna (região com profundidade inferior a 20m) e tiveram seu posicionamento adquiridos com auxílio do *Global Positioning System* – GPS da *Garmin modelo E-trex*, conectado ao sistema de navegação específico tendo como base todas as cartas básicas elaboradas e adquiridas (Fig. 3.9).



**Figura 3. 9 - Computador utilizado para o sistema de navegação, em tempo real, da embarcação. Utilizando o sistema de posicionamento do GPS da Garmin, modelo E-trex, cartas básicas e malhas de amostragem.**

### **3.3.1. Levantamento Sonográfico**

Os dados sonográficos foram coletados na área em estudo no período de 11 a 14 de setembro de 2007, utilizando-se o sonar de varredura lateral da marca *Edgetech* modelo 272-TD Towfish (Fig. 3.10), pertencente à UFRN e alocado no GGEMMA.

A sonografia utilizada para investigação em regiões submersas baseia-se na emissão e recepção de ondas acústicas de alta frequência em intervalos de tempo regulares realizada pelo sonar que navega imageando ambos os lados (Fig. 3.10). O sinal acústico não penetra no sedimento, mas permite uma visualização superficial com alta resolução.



**Figura 3. 10 - Sonar de varredura lateral marca *Edgetech* modelo 272-TD *Towfish* utilizado para o levantamento sonográfico.**

Foram adquiridos aproximadamente 80 km de registro de sonar de varredura lateral. O “peixe” foi rebocado a 1 m de profundidade abaixo da superfície da lâmina de água do mar, a uma velocidade constante de aproximadamente 4 nós. O equipamento foi operado em uma frequência de 500 KHz e alcance (range) de varredura lateral escolhidos em função da profundidade local.

A escolha da utilização das altas frequências se faz devido estas resultarem em melhores resoluções e conseqüentemente uma melhor visualização do fundo marinho. Foram escolhidos dois perfis principais para a realização da navegação e aquisição dos dados, dispostos de forma abrangente (Fig. 3.11), de modo a se obter um conhecimento regional da área em estudo, pouco conhecida, e averiguação de alvos determinados em trabalhos anteriores, como os paleovales e as diferentes fácies sedimentares identificadas por Oliveira, 2007.

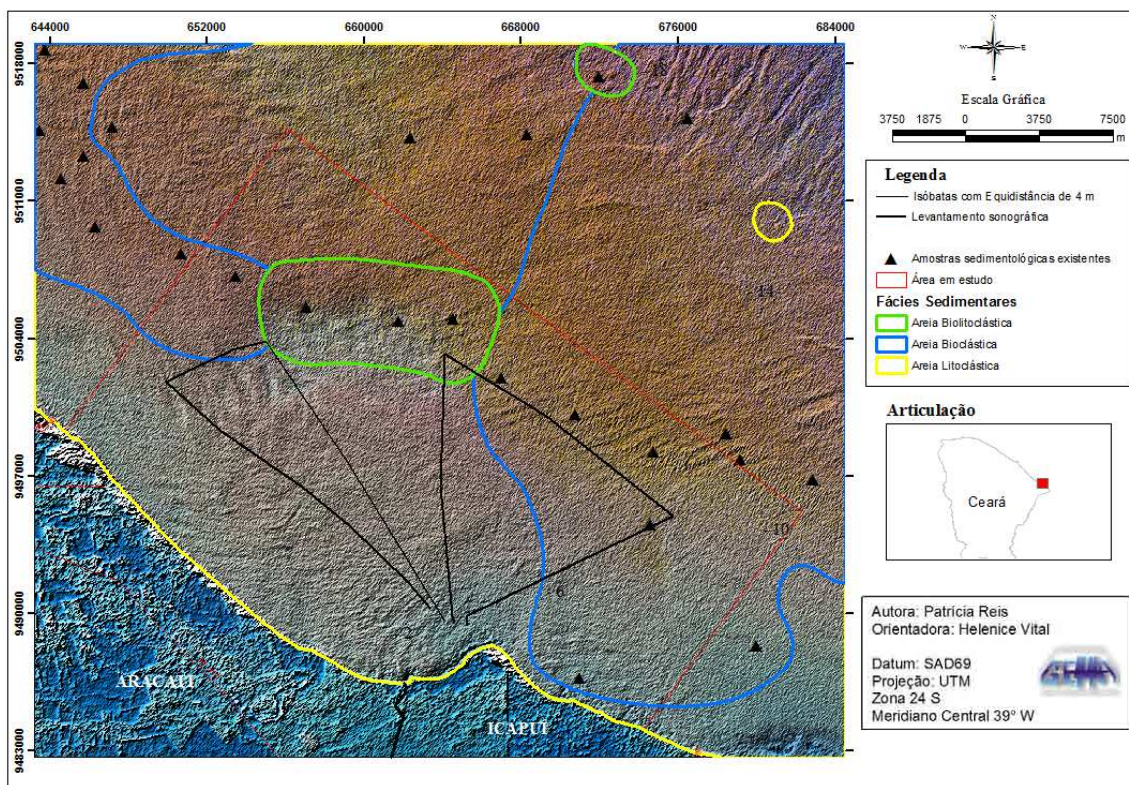


Figura 3. 11 - Mapa de localização dos perfis sonográficos, plotados em imagem LANDSAT 5 TM 1990 RGB123.

### 3.3.2. Coleta de Sedimento de Fundo

Durante o período de 14 a 21 de abril foram realizadas as coletas sedimentológicas superficiais do fundo submarino na área de detalhamento.

As amostras foram coletadas em uma malha amostral com espaçamento de 2 X 2 milhas náuticas (aproximadamente 3.706 km) e em alguns lugares estrategicamente determinados objetivando um maior detalhamento e base para calibração durante a interpretação dos registros sonográficos (Figura 3.12).

Foram coletadas 31 amostras utilizando amostrador pontual do tipo *Van Veen* (Fig. 3.13).

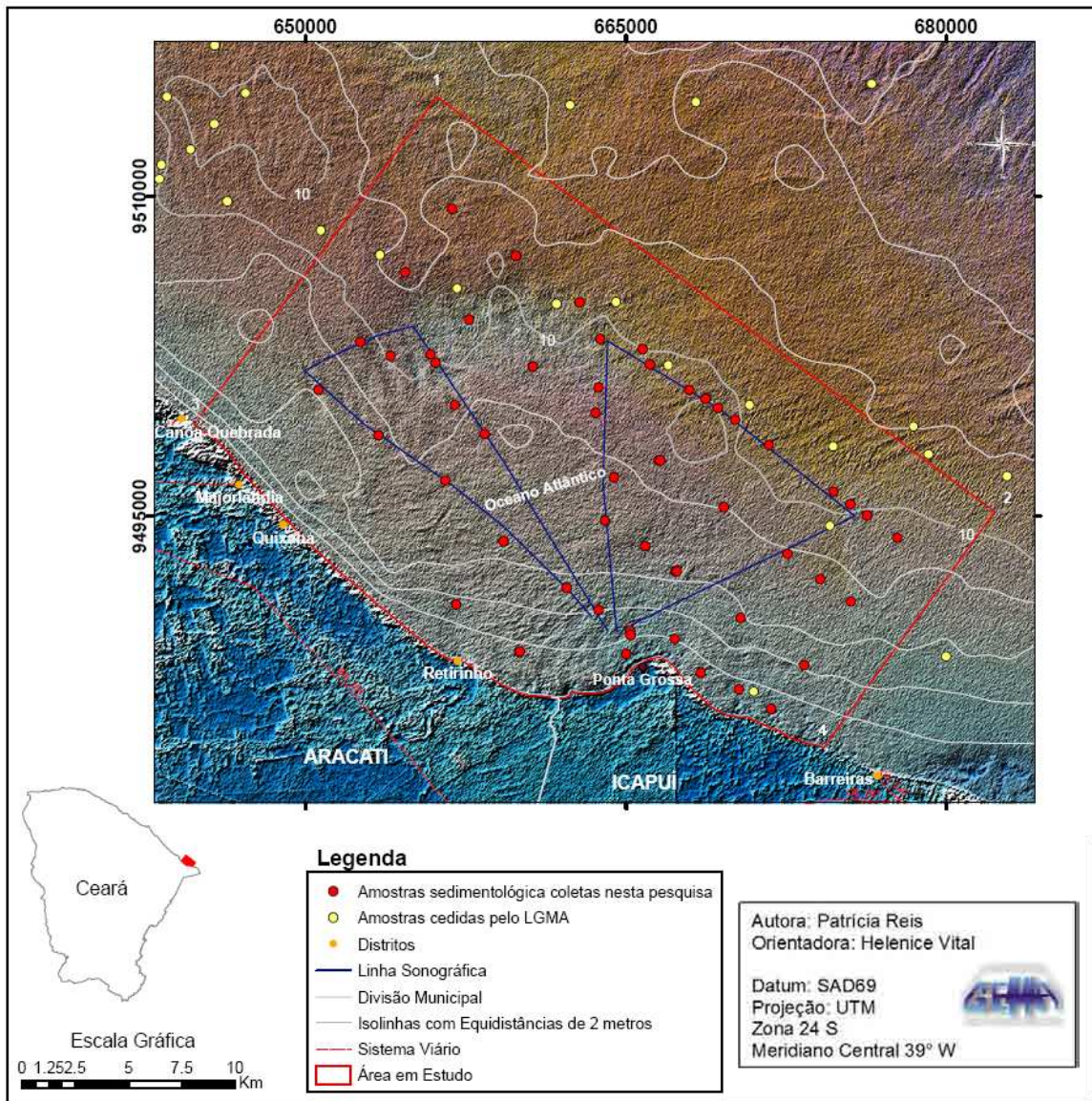


Figura 3.12 – Mapa de localização das amostras sedimentológicas coletadas (círculos vermelhos) e pré-existentes (círculos amarelos) utilizadas nesta pesquisa.

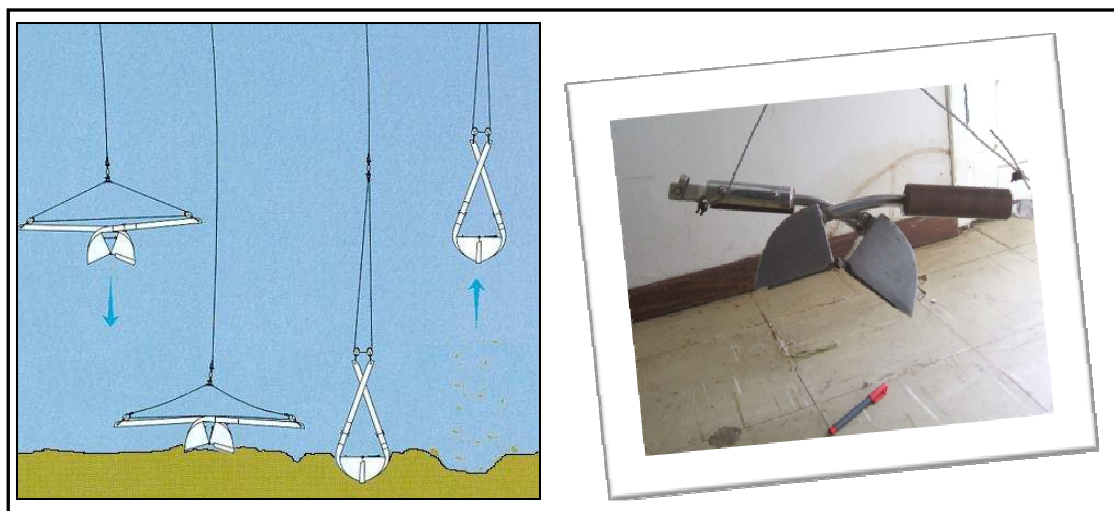


Figura 3.13 – Coleta de sedimentos do fundo marinho. A) esquema de coleta da amostra; B) Amostrador pontual do tipo Van Veen.

### 3.4. Procedimento de Laboratório

#### 3.4.1. Análise Sedimentológica

Nesta etapa as amostras coletadas foram analisadas quanto a granulometria, e quanto a composição (teor de carbonato) visando confecção de mapas faciológico e de teor de carbonato de cálcio.

Em Laboratórios da UFRN (sedimentologia e GGEMMA) as amostras foram inicialmente lavadas na centrífuga multifuge 35 R da marca *Heraeus*, com rotação de 4000 rpm, a uma temperatura de 25° C e aceleração e desaceleração na ordem de 9 rpm/s (Fig. 3.14), para eliminar a presença de sal. Posteriormente, o material mais arenoso e cascalhoso foi seco na estufa *Tecnal TE 394/2* a uma temperatura de 50° C (Fig. 3.15) e as amostras lamosas foram congeladas em nitrogênio líquido e secas em liofilizador da marca *Thermo Savant*, modelo *modulyor/115*, à temperatura de -50° C e pressão de 600 mbar.

Em seguida foram retirado 100 g de cada amostra para o peneiramento seco na *rot up* elétrica da *Produtest* (Fig. 3.16), para separar as frações superior e inferior a 2 mm. Da porção inferior a 2 mm foram retiradas 50 g para ataque com HCL diluído a 10

% para posterior pesagem (comparação da diferença de peso inicial e final) e quantificação do teor de carbonato de cálcio presente em cada amostra.

Após a eliminação do carbonato de cálcio e da matéria orgânica (por ataque com ácido  $H_2O_2$  diluído a 10%), as amostras foram secas e retirada 3 g para análise em granulômetro a laser da marca Cilas modelo 1180. Em seguida utilizando o programa SAG (Dias e Ferraz, 2004), as amostras foram classificadas quanto ao caráter textural e quanto ao teor de carbonato de cálcio, seguindo a classificação de Folk (1974), Larssonneur (1977) modificada por Dias (1996) e Shepard (1954) para posterior confecção de mapas textural, faciológico e teor de carbonato de cálcio.



**Figura 3.14 - Centrífuga Multifuge 35 R da marca Heraeus, com rotação de 4000 rpm, a uma temperatura de 25° C e aceleração e desaceleração na ordem de 9 rpm/s.**



Figura 3.15 – Estufa Tecnal TE 394/2 a uma temperatura de 50° C.



Figura 3.16 - Rot up elétrica da Prodotest

### 3.5. Trabalho de Gabinete

#### 2.5.1. Processamento dos Dados Sedimentológicos

As amostras foram classificadas levando-se em consideração o caráter misto da Plataforma Continental do Ceará, segundo Freire & Cavalcante (1998), utilizando uma nova proposta desenvolvida pelo grupo de pesquisa do LGMA, a qual utiliza uma adaptação das classificações de Shepard (1957), Larsonneur (1977) e Dias (1996). Adicionalmente, foi substituído nesta classificação o prefixo Lito por silici (ex. substitui litoclástico por siliciclástico) seguindo argumentação de Vital et al. (2005). Após serem classificadas, as amostras sedimentológicas foram submetidas a métodos de interpolação e posterior avaliação para confecção dos mapas faciográficos.

Foram utilizados os interpoladores *Radial Basis Function Multiquadratic* e *Spline wick barriers*. Sendo o *Radial Basis Function Multiquadratic* escolhido por ser um interpolador exato que pode determinar valores acima do máximo e abaixo do

---

mínimo e *Spline wich barriers*, interpolador que utiliza todos os pontos da amostragem disponível para ajustar a superfície analítica suavizada.

Aos mapas confeccionados por interpolação foram introduzidos dados de batimetria, pontos de coleta sedimentológica, imagem de satélite e registros sonográficos para redeterminação dos contornos das fácies sedimentológicas.

### **2.5.2. Processamento dos Dados Sonográficos**

Em laboratório, os dados sonográficos foram unidos para geração de mosaico e processados no programa SonarWiz. *MAP4 V4.03.0083*, disponível no GGEMMA/UFRN. Foram aplicados aumento de contraste e aumento do ganho variável de tempo (TVG) de modo a melhorar a visualização das feições de fundo.

Utilizou-se a palheta de cores cinza, por esta ser mais comumente utilizada e fornecer melhor contraste entre as diferentes feições presentes nos registros. Além de algumas correções de distorções nos registros ocasionados pela variação na velocidade da embarcação, a inclinação do “*range*” de calibração, o espalhamento horizontal do feixe acústico, as variações da altura do sensor, inclinações nas camadas de fundo e instabilidade no cabo de reboque do sensor, entre outras, utilizando como base os trabalhos de Flemming (1976).

Para determinação das feições de fundo utilizou-se a classificação de Ashley (1990). As amostras sedimentológicas analisadas e imagem de satélite foram utilizadas para calibração durante a interpretação dos dados sonográfico e para identificação do tipo de fundo e formas de leito sedimentares e outras feições.

## ***3.6. Integração e Análise dos Dados***

Após processamento e integração dos dados, estes foram interpretados de modo a ser elaborada esta dissertação de mestrado e publicações em eventos e periódicos científicos.

---

## RESULTADOS E DISCUSSÕES



Estudo sistemático utilizando processamento e integração de imagem de satélite, batimetria, sonar de varredura lateral e sedimentologia possibilitou a realização da caracterização morfológica e sedimentológica da Plataforma Continental Cearense, adjacente aos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí.

### ***4.1. Material em Suspensão e Deriva Litorânea***

Com base na carta imagem foi possível inferir a presença das correntes de deriva litorânea, através do material particulado em suspensão (em tons de azul turquesa, figura 4.1 e figura 4.3). As ilustrações sugerem que a deriva litorânea apresenta preferencialmente sentido SE-NW, limitada à linha de costa e cota batimétrica de aproximadamente -6 m, porção rasa da plataforma continental interna (profundidades inferiores a 20 m), podendo em alguns pontos atingir uma profundidade de 8 m impulsionadas por altos topográficos submersos presentes no assoalho, como formas de leito tipo Dunas (Fig. 4.2), assim como encontros com desembocaduras de rios (Fig. 4.3).

As resultantes das ações das correntes de deriva litorânea sobre os sedimentos presentes na carga de fundo e carga em suspensão configuram um transporte da carga sedimentar na direção preferencial SE-NW, seguindo a configuração da linha de costa, inferida pelas direções das formas de fundo nas regiões de desembocaduras dos rios, acreções de sedimentos, barras arenosas paralelas a linha de costa, pontais arenosos, bancos de sedimentos. Todas alinhadas neste mesmo *trend* (Fig. 4.1 e 4.3).

---

A carta imagem como mostra a figura 4.4, possibilita a determinação de 4 zonas com base na concentração de material em suspensão.

Na Zona 1 a pluma constituída de material em suspensão impede completamente a visibilidade do fundo marinho. Apresenta-se de forma mais contínua, homogênia, paralela a linha de costa, restrita à águas ultra-rasa e limitada à linha de costa (cota zero) e a isóbata de - 8 m (Fig. 4.4). Esta zona estaria sendo fortemente influenciada pelas correntes de deriva litorânea, ação das ondas e maré.

Observa-se um desvio (bifurcação) na pluma de material em suspensão nas proximidades de Icapuí (Fig. 4.1 e 4.3c). Parte dessa carga sedimentar aparentemente estaria sendo desviada para águas mais distantes à costa, chegando a profundidades de 8 m, provavelmente impulsionada pela presença de bancos de areias submersos paralelos a linha de costa (fig. 4.2 e Fig. 4.3). A outra parte do material desviado para a região mais costeira continuaria no processo de deriva litorânea.

A resposta espectral (cores e níveis de cinza) do material presente na pluma de material em suspensão da zona 1 assemelha-se muito com a resposta espectral dos sedimentos presente no continente, regiões de dunas costeiras, praias arenosas e desembocadura dos rios, o que nos leva a crê, que esta zona esteja recebendo contribuição do material provindo do continente em direção a plataforma continental. Contribuição, que provavelmente, é bastante limitada devido a atual condição dos poucos rios existentes na zona costeira. Rios que apresentam baixa competência quanto ao transporte sedimentar, devido a pouca precipitação, característico de regiões com clima semi-árido e a presença de barragens e ocupações antrópicas ao longo do curso dos rios.

A zona 2, limitada pela cota batimétrica de -8m até a isóbata de -10 m, apresenta-se com uma quantidade de material em suspensão menor que na zona 1, mas ainda significativa e bem homogenia, que impede a visibilidade do fundo marinho. À leste, essa zona chega a uma profundida de 14m, impulsionado pelos altos topográficos e pela região de planície de maré defronte a Icapuí (Fig. 4.3 e 4.4). A resposta espectral da pluma sugere que o material presente nesta zona já não recebe significativa contribuições de sedimentos proveniente do continente. Provavelmente, os sedimentos

---

posto em suspensão nesta zona correspondam aos sedimentos relíquios da plataforma continental e os sedimentos trazidos por correntes marítimas *offshore* em direção ao continente, como os pelitos e areia com granulometria mais finas. Certamente, essa zona ainda recebe influência das ondas e maré, e nas regiões próximo as desembocaduras dos rios (Fig. 4.3).

A zona 3, limitada pela cota batimétrica -10 m e a de -14 m, possui uma pluma menos densa e heterogeneia que já possibilita uma melhor visibilidade das formas de leito presentes nesta porção do fundo marinho (Fig. 4.3 e ver ítem 4.2).

A zona 4, limitada pela cota batimétrica de -14 m e cota de -30 m, não apresenta pluma, chegando a quase nulo a existência de material em suspensão. A visibilidade do fundo marinho é muito boa e pode-se observar os campos de dunas transversais, linha de *beach rock*, regiões de depressões e altos topográficos. Provavelmente essa zona não é mais influenciada pelas correntes de deriva litorânea, onda e maré, passando agora a ser influenciadas por correstes provindas de águas mais profundas (Fig. 4.3).

Acima dessa zona não mais torna-se possível a visualização do fundo marinho, devido há um aumento brusco da profundidade, que se reflete no baixo sinal de retorno *bacscatter* ou simplesmente não fornecendo retorno algum do sinal (nível de cinza zero), marcando a região de início da quebra da plataforma continental.

A determinação do mecanismo de suspensão, origem e disponibilidade do material presente na carga de sedimento de fundo e de suspensão, assim como determinar a influência das correntes de deriva litorânea, marés, ondas e correntes de água profunda para a formação dessa carga sedimentar e das feições de fundo submersos só podem ser corroboradas com base em estudos mais detalhados das condições hidrodinâmicas da área em estudo, mofoscopia dos sedimentos, datações, testemunhagem, sísmostratigrafia e outros métodos capazes de fornecer maiores informações, de modo a se determinar com maior precisão os processos sedimentares e ambientes de deposição responsáveis pela construção desses registros sedimentares que serão melhores descritas posteriormente. Assim como, possibilitar a determinação de ambientes potencialmente análogos para reservatórios de petróleo.

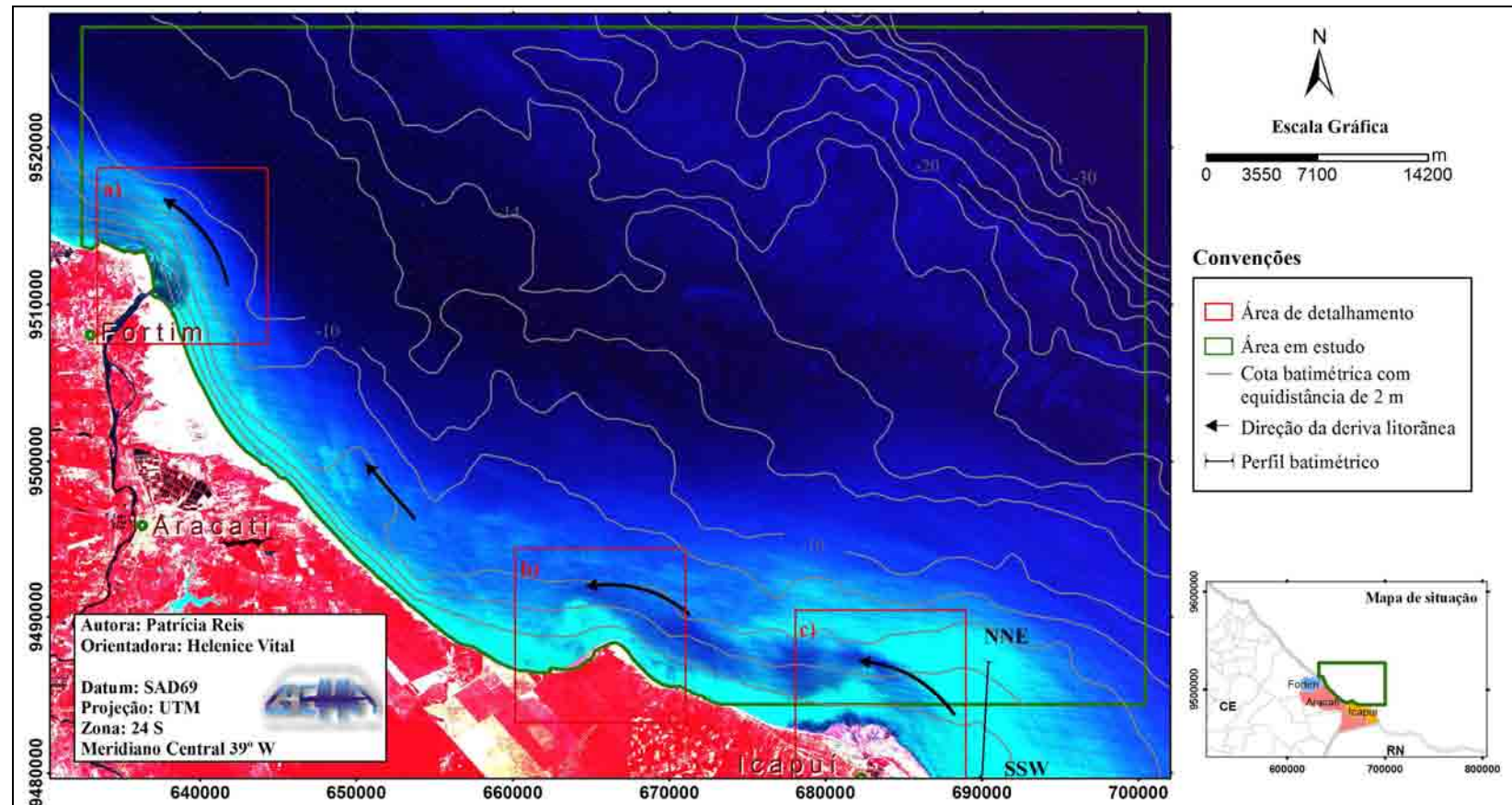


Figura 4.1 – Carta imagem, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição R5G2B1I1, ilustrando a presença de material particulado em suspensão (tons de azul turquesa); localização do perfil batimétrico SW-NE da figura 4.2; e localização da área de detalhamento A, B e C referente à Fortim, Ponta Grossa e Icapuí, respectivamente, da figura 4.3.

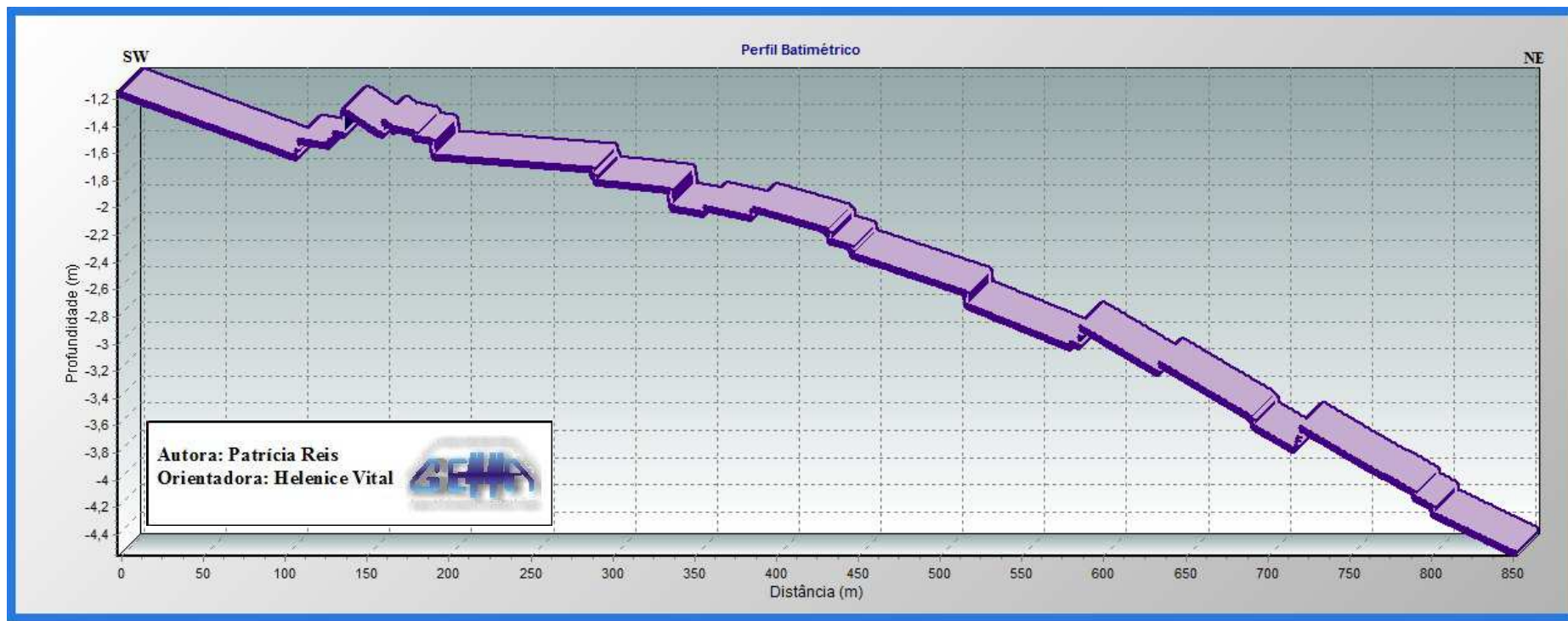


Figura 4.2 – Perfil Batimétrico SW-NE evidenciando a presença de dunas submersas, localização geográfica na figura 4.1.

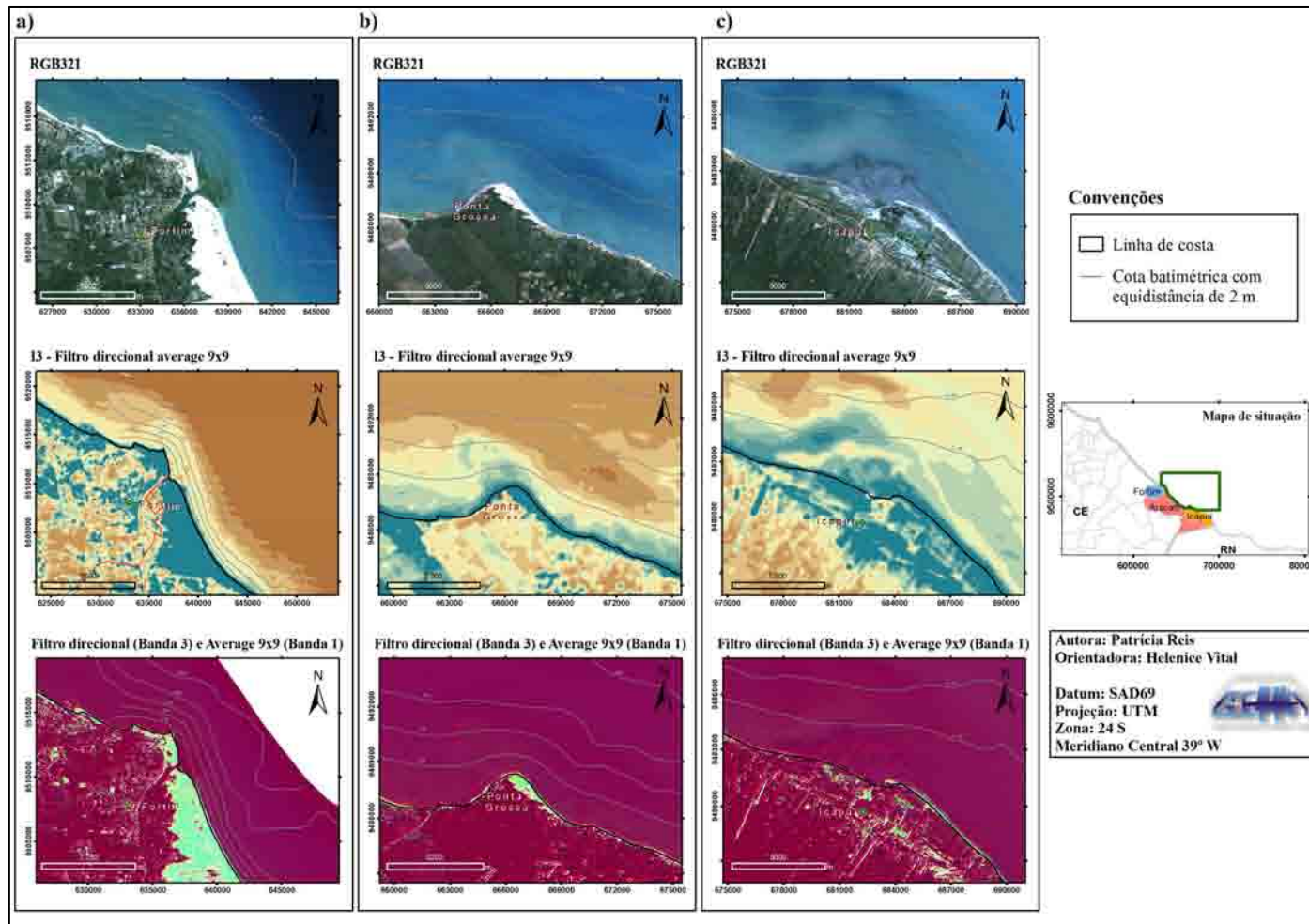


Figura 4.3 – Carta imagem ilustrando o transporte dos sedimentos carreados pela deriva litorânea com direção preferencial SE-NW utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 1988. A), B) e C) região de Fortim, Ponta Grossa e Icapuí, respectivamente, localizados na figura 4.1.

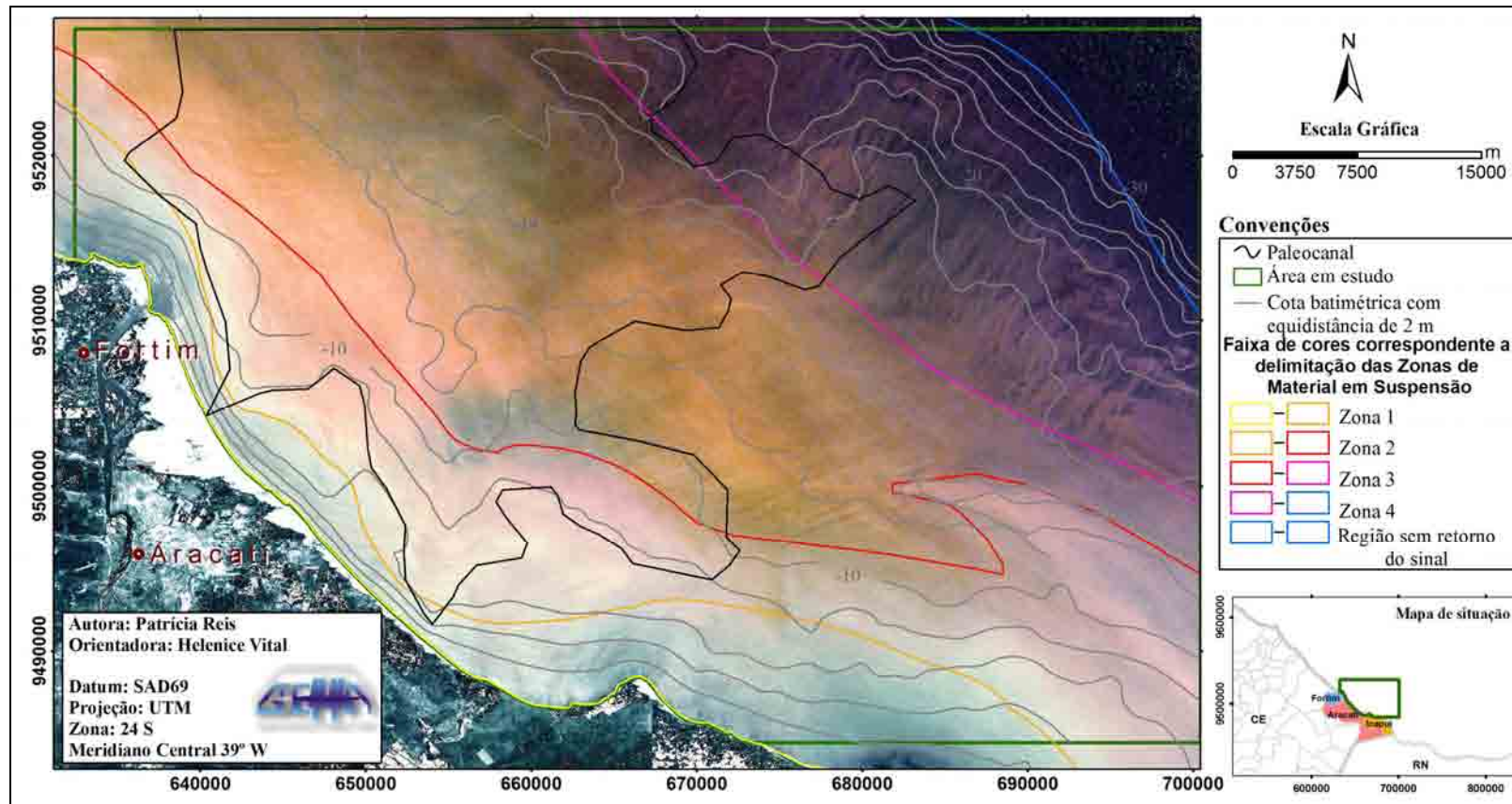


Figura 4.4 – Carta imagem ilustrando as zonas delimitadas a partir da concentração do material particulado em suspensão da Plataforma Continental Cearense, área em estudo, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição R1G2B3I1.

---

## ***4.2. Formas de Fundo***

Através de aplicações de filtros direcionais foi possível observar as diferentes formas de fundo encontradas na porção leste da Plataforma Continental Cearense, como afloramentos rochosos, banco de sedimentos bioclásticos e campo de dunas longitudinais, transversais e obliquas (fig. 4.5). As quais serão descritas posteriormente, assim como as demais formas de fundo encontradas, tais como: leito plano e paleocanal.

### **4.2.1. Dunas Longitudinais**

A carta imagem (Fig. 4.5 e 4.6) ilustra a existência de dunas longitudinais nas adjacências da área em estudo as quais são detalhadas em trabalhos anteriores da plataforma do Rio Grande do Norte (e.g., Lima 2006; Gomes, 2007).

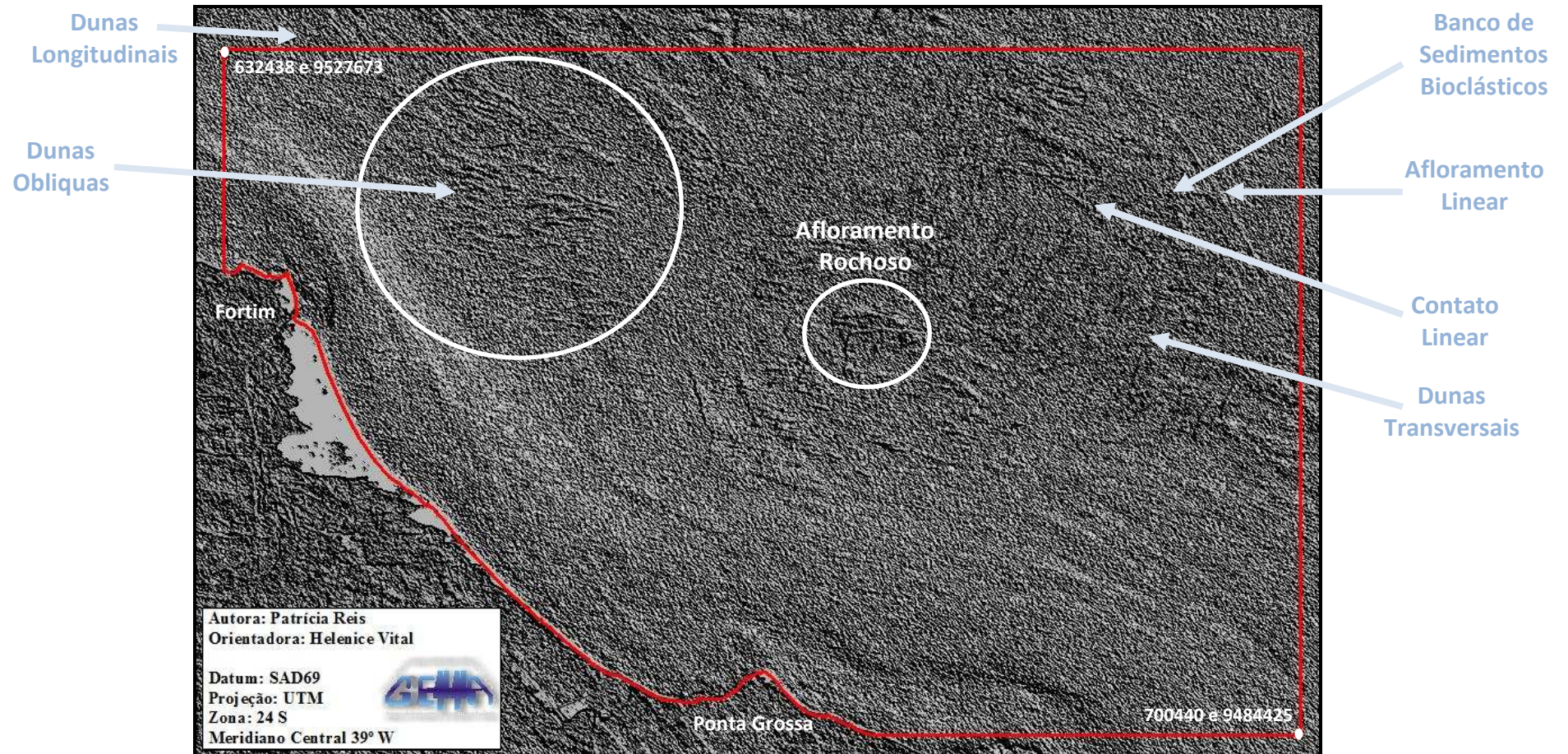
Na porção central da área em estudo essas dunas longitudinais, provavelmente, não são encontradas devido à tectônica local, descrita por Souza, 2002.

### **4.2.2. Dunas Transversais**

A imagem de satélite ressaltada por técnicas em processamento digital de imagem revelam a presença de extensos campos de dunas subaquáticas transversais a linha de costa, localizadas entre a plataforma média e externa, entre as isóbatas de -15m e -20m (Fig. 4.5, 4.7, 4.8a, 4.9 e 4.12 a 4.14).

Amostras sedimentológicas permitem caracterizar o sedimento presente nesta região como sendo areia bioclástica, média e moderadamente selecionada (Fig. 4.7, 4.8 e 4.9).

A partir da carta imagem (Fig. 4.7, 4.8 e 4.10), observa-se um contato retilíneo que separa o campo de duna transversal, substrato mais homogêneo, com textura mais lisa e constituído de sedimentos finos, de outro substrato heterogêneo, com textura rugosa e constituído por um material de granulometria mais grossa, semelhante a afloramentos rochosos, possivelmente relacionado a um complexo de bancos de areias bioclásticas ou recifes, descrito mais adiante. Esse lineamento é bastante retilíneo e bem marcado.



**Figura 4.5 - Carta Imagem ilustrando as feições do fundo marinho encontradas na área em estudo, dentre elas: afloramentos rochosos, bancos de sedimentos bioclásticos; dunas longitudinais, transversais e obliquas.**

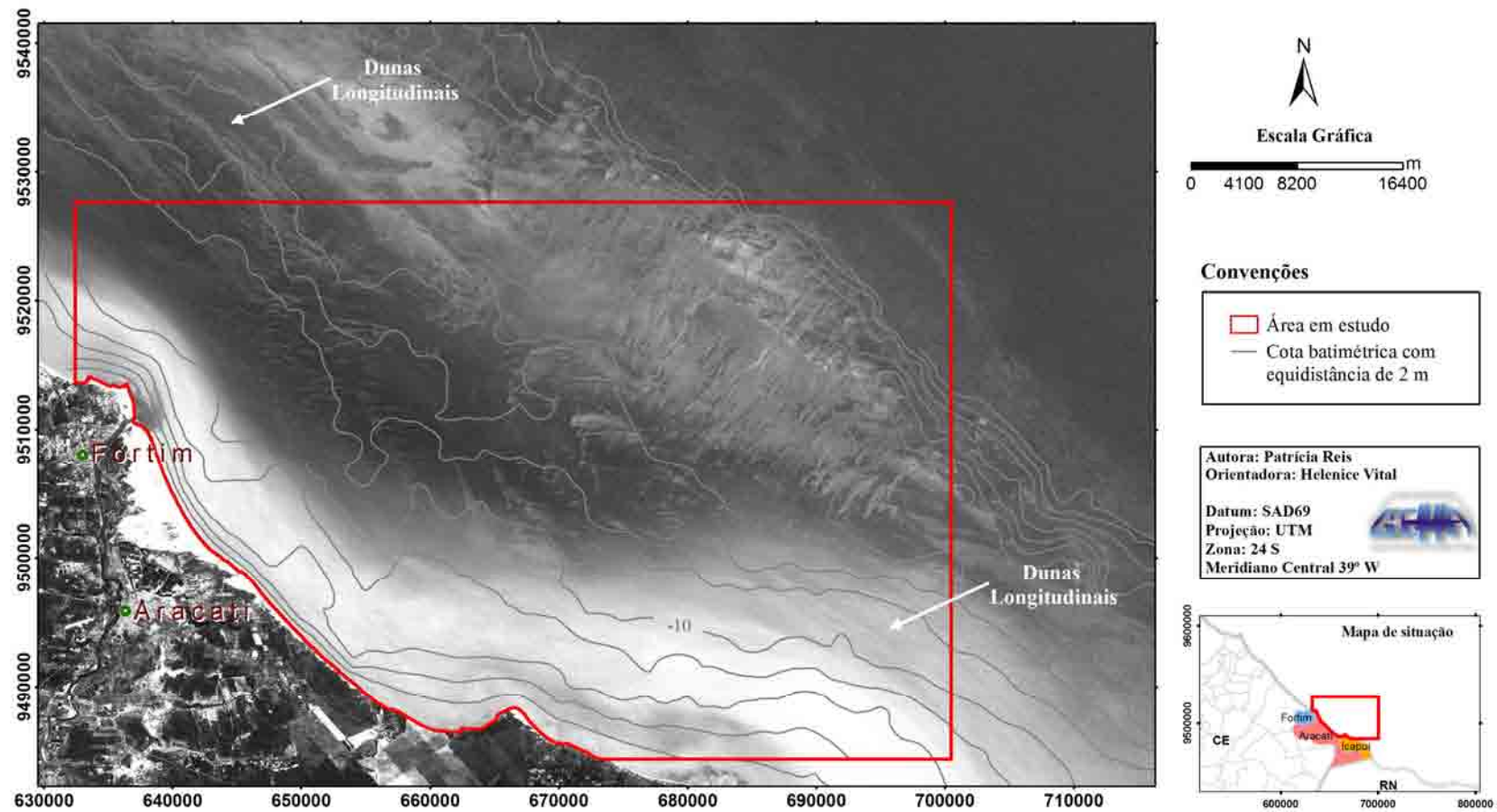


Figura 4.6 – Carta Imagem ilustrando a existência de dunas longitudinais somente nas adjacências da área em estudo, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1.

---

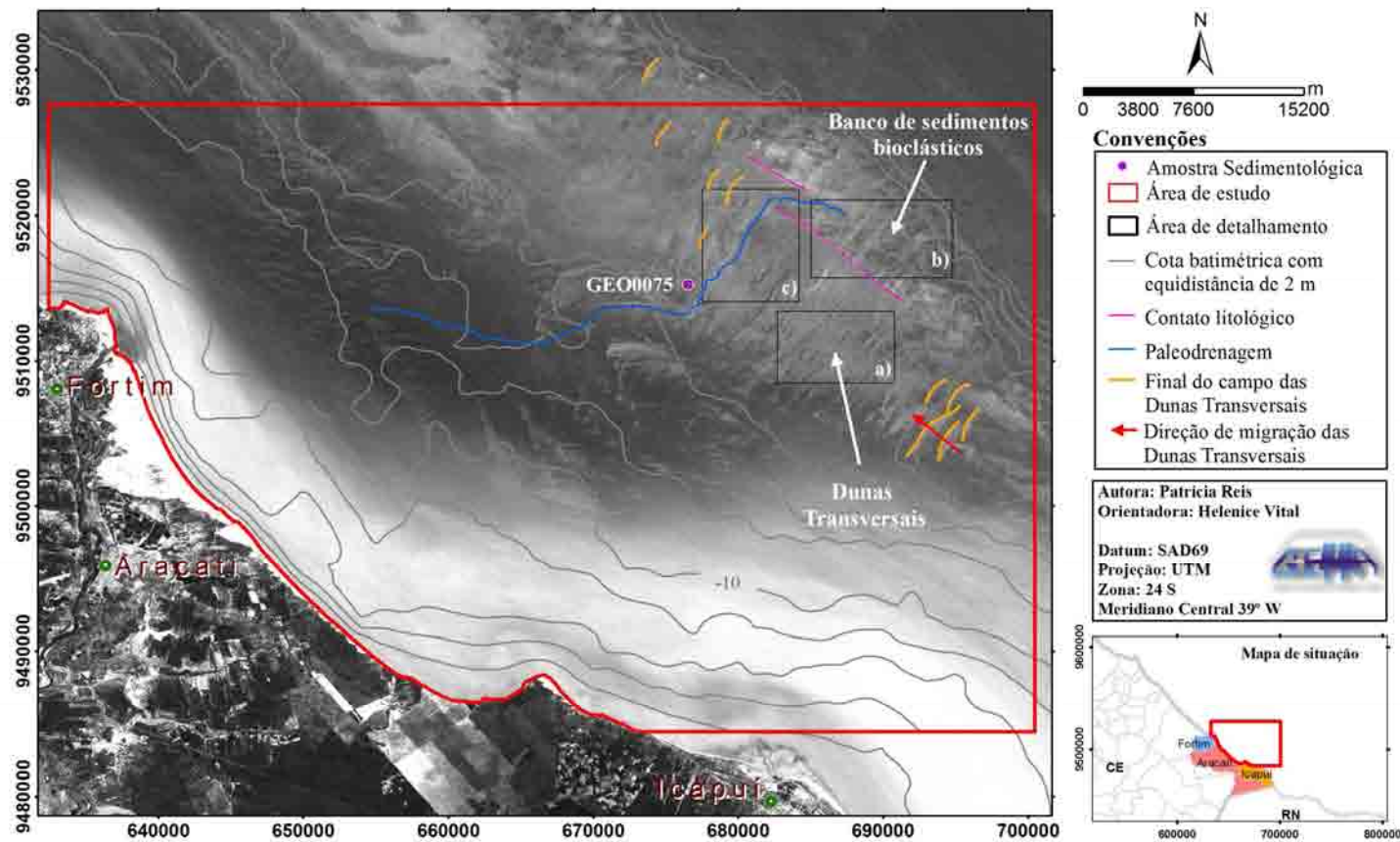
As dunas de grande porte apresentam em sua dorsal pequenas dunas que se superpõem. No início e fim, dessa forma de leito de grande porte, observa-se um predomínio de uma geometria semelhante a dunas parabólicas, classificação de dunas formada por processo eólico, típico de ambiente onde a velocidade do vento é moderado e fornecimento de areia é limitada, formadas pela destruição de uma duna transversal (Fig. 4.7, 4.9, 4.12 e 4.13) (Sígolo, J.B, 2001). No extremo oeste observa-se um paleocanal entalhado contornando a morfologia da duna de grande porte (Fig. 4.7 e 4.8).

Individualmente as dunas apresentam-se com aproximadamente 2 km de extensão variando até 4 km, quando ocorre a superposição de duas dunas; apresenta em média um intervalo entre elas de aproximadamente 400 a 600 m (Fig. 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12). As cristas apresentam direções principais SW-NE, sendo curva, o que possibilita a classificações dessas dunas, segundo classificação de Ashley (1990), como dunas tridimensionais (3D) (Fig. 4.7 a 4.13). A morfologia dessas dunas sugere que sua migração esteja ocorrendo de sudeste para noroeste (Fig. 4.7 a 4.14).

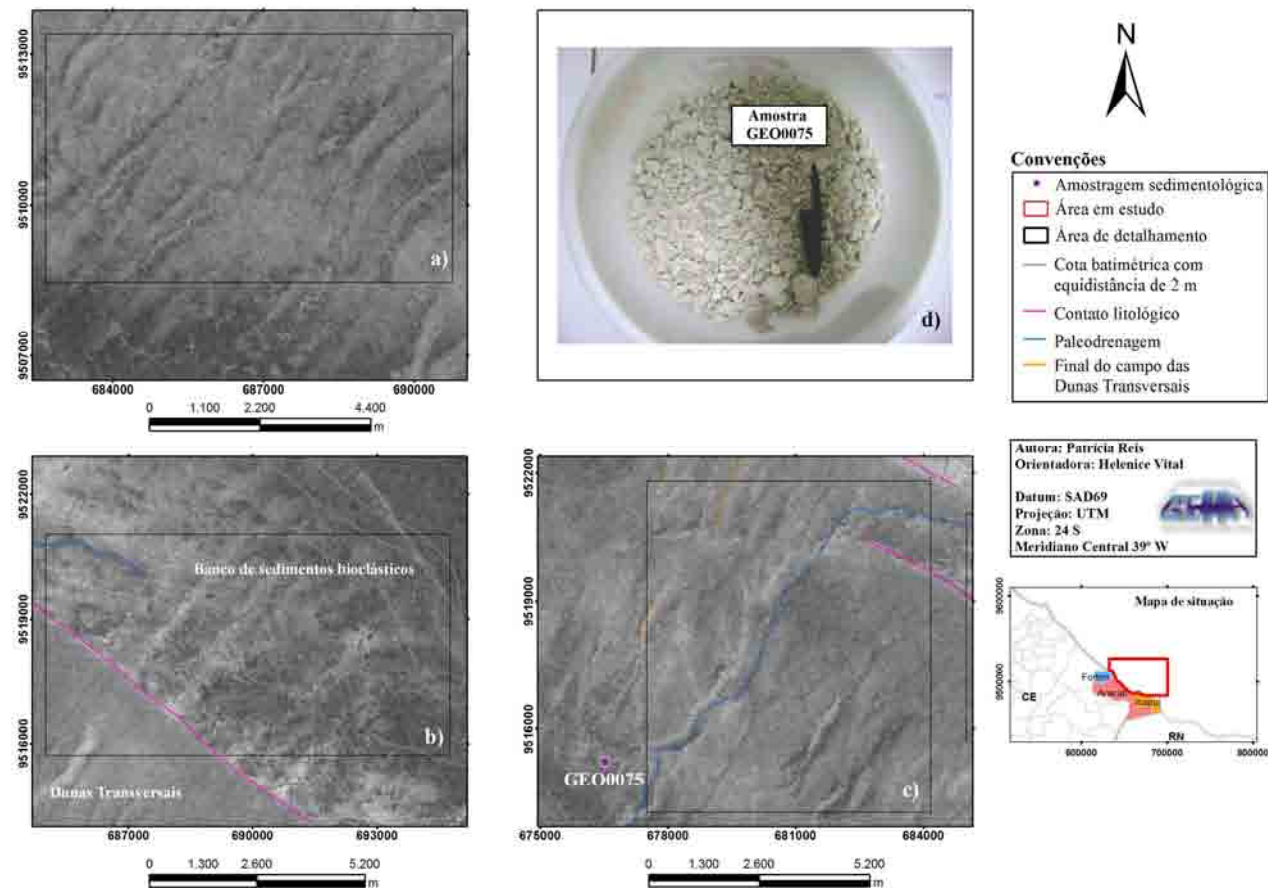
A integração do modelo digital do terreno (MDT) com imagem de satélite possibilita uma melhor visualização dessas dunas presentes na borda da plataforma (Fig. 4.12 e 4.13).

Com base na análise temporal realizada por comparação de imagens de satélite, anos 1988, 1990, 2008 (recobrimento de 20 anos), pode-se observar que esta havendo migração das dunas, na direção SE-NW determinada pela marcação das cristas. Essa migração esta ocorrendo na ordem de aproximadamente 100 m a cada 10 anos (Fig. 4.14).

Campos semelhantes de dunas transversais também foram identificados em áreas adjacentes no Rio Grande do Norte (e.g. Vital *et al.*, 2005; Tabosa, 2006; Gomes, 2007).



**Figura 4.7 - Carta Imagem ilustrando o campo de dunas transversais em contato com o banco de sedimentos bioclástico, direção de migração do campo de dunas, paleocanal e amostra sedimentológica existente da região das Dunas Transversais, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1. a) Dunas transversais, b) Contato litológico e c) Paleocanal.**



**Figura 4.8 - Imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1 ilustrando: a) Dunas Transversais; b) Contato litológico; c) Peleocanal; e d) Amostra sedimentológica, com localização na figura 4.7.**

---

### 4.2.3. Dunas Obliquas

A oeste da localidade de Ponta Grossa identificamos por meio de carta imagem (Fig. 4.5 e 4.15) um campo de dunas com direção preferencial ENE-WSW (obliqua a linha de costa). Situadas entre as cotas batimétricas de – 10m e – 16m estas apresentam a face da avalanche com a concavidade apontando o sentido da corrente. Individualmente elas possuem cerca de 2 km de extensão e apresentam em média um intervalo entre elas de aproximadamente 400 a 600 m, semelhante às Dunas Transversais.

### 4.2.4. Bancos de Sedimentos Bioclásticos

Uma diferença no padrão de textura e contraste é observada nas imagens de satélite das figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10, evidenciando um contato retilíneo bem marcado a uma profundidade de aproximadamente 20 m, a norte das dunas transversais. A resposta espectral, textura e características sedimentológicas (fig. 4.16) sugerem que trata-se, provavelmente, de uma banco de sedimentos com alta concentração de carbonato, podendo este corresponder a uma construções recifal, típica de borda de plataforma, ou exposição de afloramentos rochosos, como a Formação Jandaíra. Entretanto são necessários estudos mais detalhados para sua comprovação, utilizando-se sonar de varredura lateral, ROV, sísmica e outras técnicas. Trabalhos científicos como de Frazão (2003), Pessoa Neto (1999), Silva Filho (2004) fazem referência a esse tipo de material em borda da plataforma.

### 4.2.5. Fundo Rochoso

A carta imagem, figura 4.17, evidencia a existência de duas feições lineares, paralelas a linha de costa, a primeira a uma profundidade de cerca de 30 m e outra a uma profundidade aproximada de 45 m.

Esses alinhamentos provavelmente correspondem a rochas sedimentares (arenitos) e estão associados a existência de antiga linhas de praias (paleolinha de costa), evidenciando antigas variações no nível do mar. Sua comprovação só seria possível mediante amostragens sedimentológicas e datações..

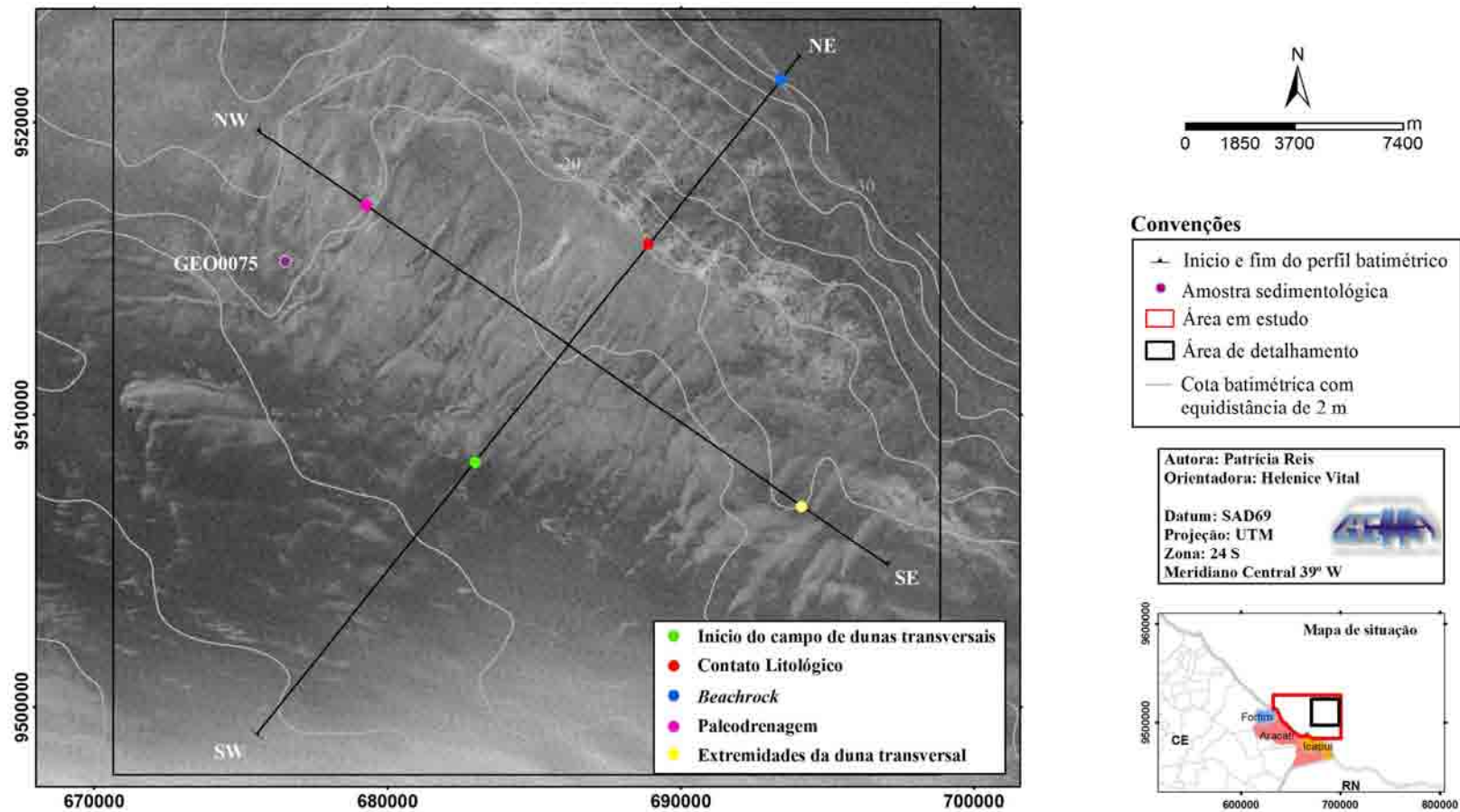


Figura 4.9 – Carta Imagem ilustrando as dunas transversais, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição II, com localização da amostra sedimentológica e perfis batimétrico SW-NE e NW-SE.

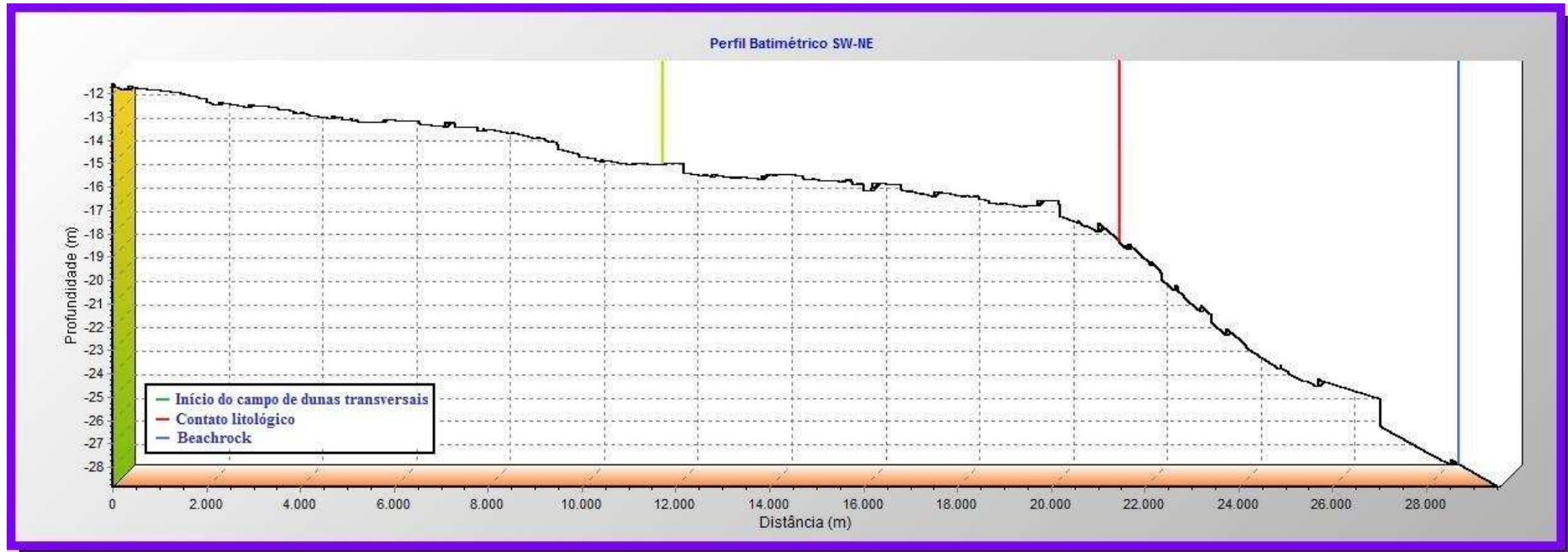


Figura 4.10 – Perfil Batimétrico SW-NE ilustrando a presença das dunas transversais, contato litológico e *beachrock*, com localização geográfica na figura 4.9.

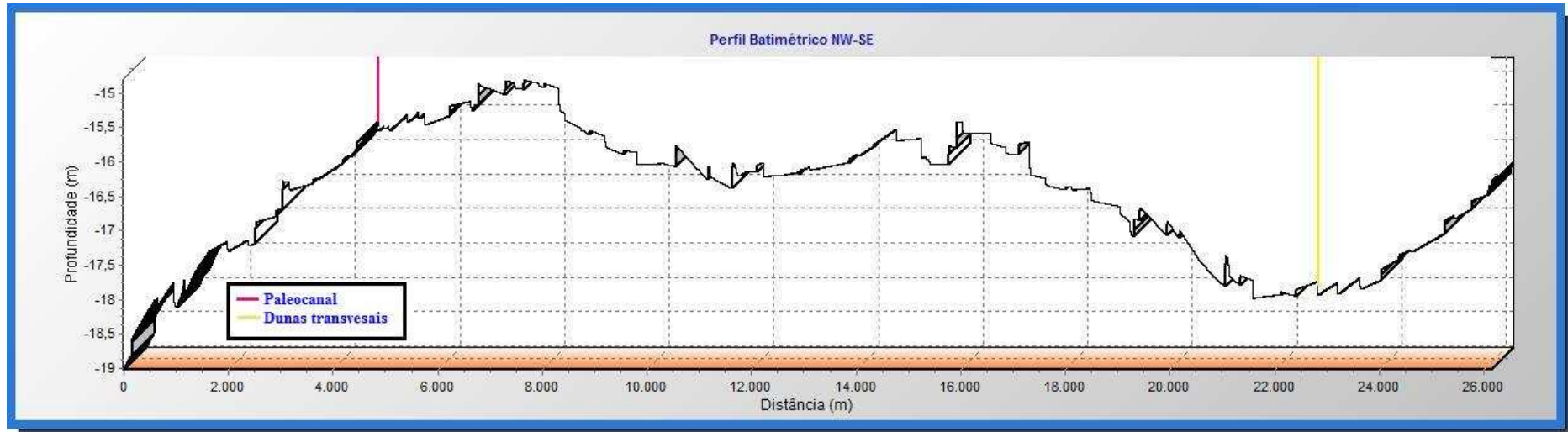


Figura 4.11 – Perfil Batimétrico NW-SE ilustrando as presença das dunas transversais e paleocanal, com localização geográfica na figura 4.9.

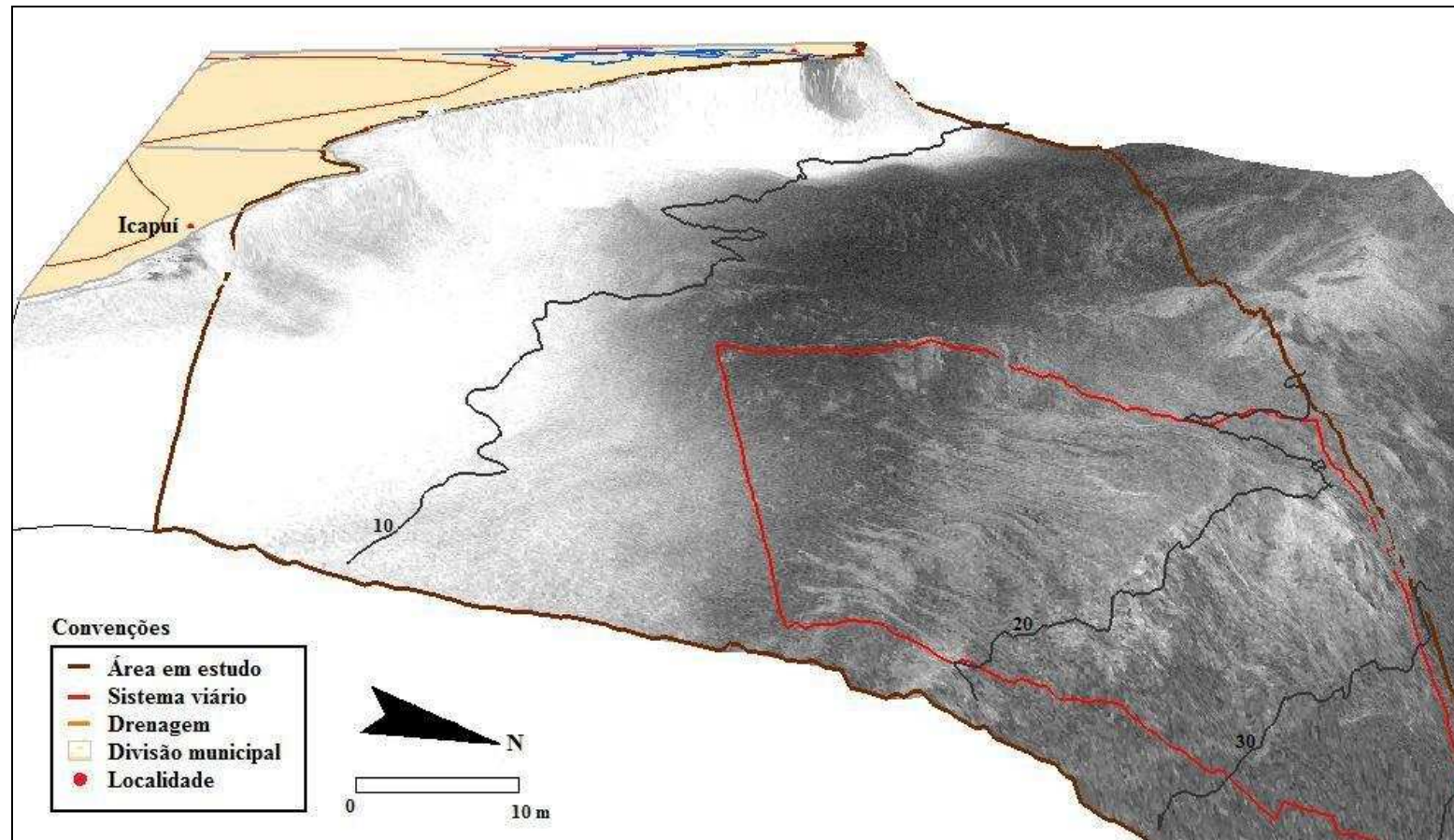


Figura 4.12 – Carta Imagem obtida a partir da integração do modelo digital do terreno e imagem de satélite (LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1) ilustrando a ocorrência das Dunas Transversais. Modelo com exaço vertical de 500 vezes.

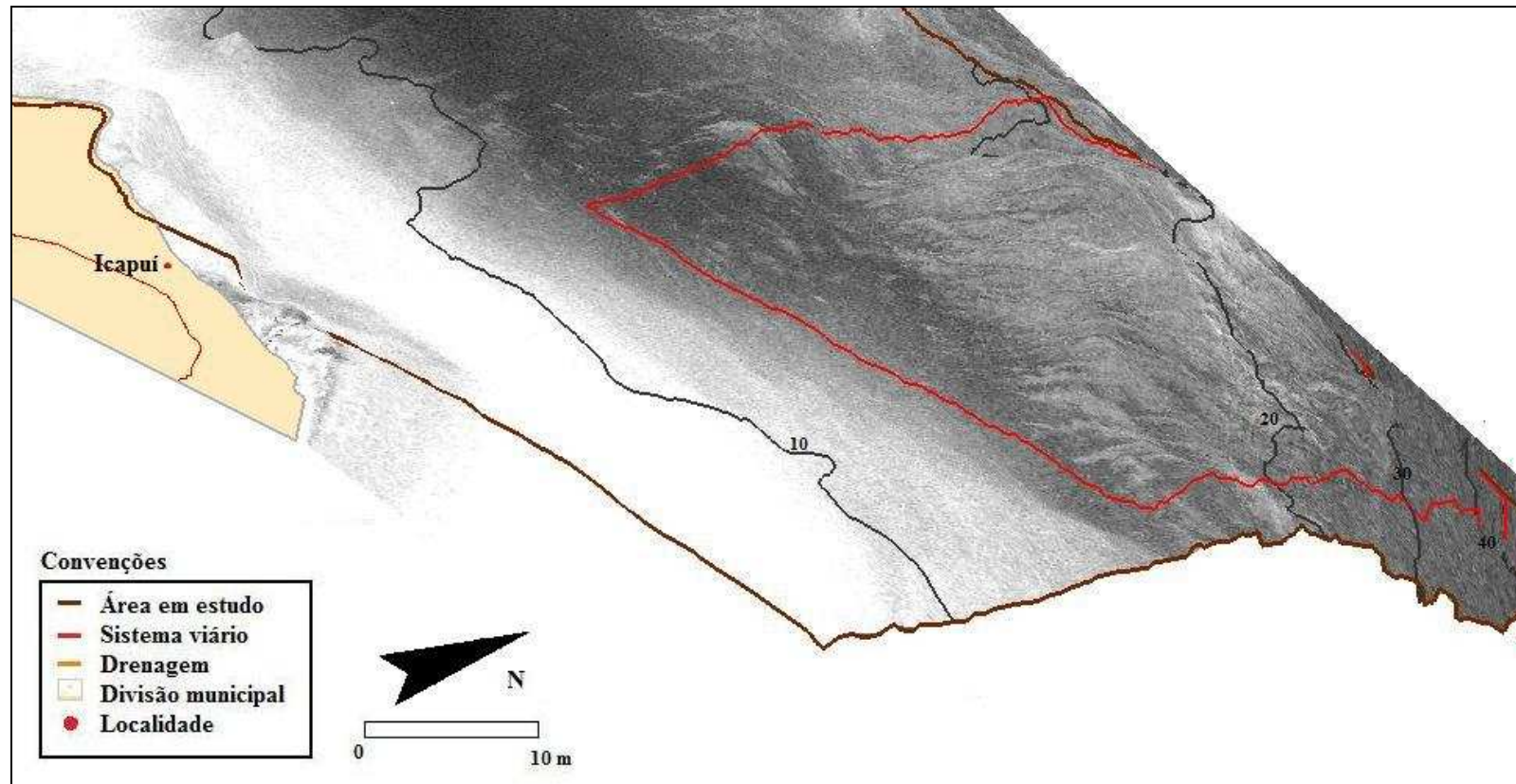


Figura 4.13 – Carta Imagem obtida por integração do modelo digital do terreno e imagem de satélite (LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1) ilustrando a ocorrência das Dunas Transversais. Modelo com exagero vertical de 500 vezes.

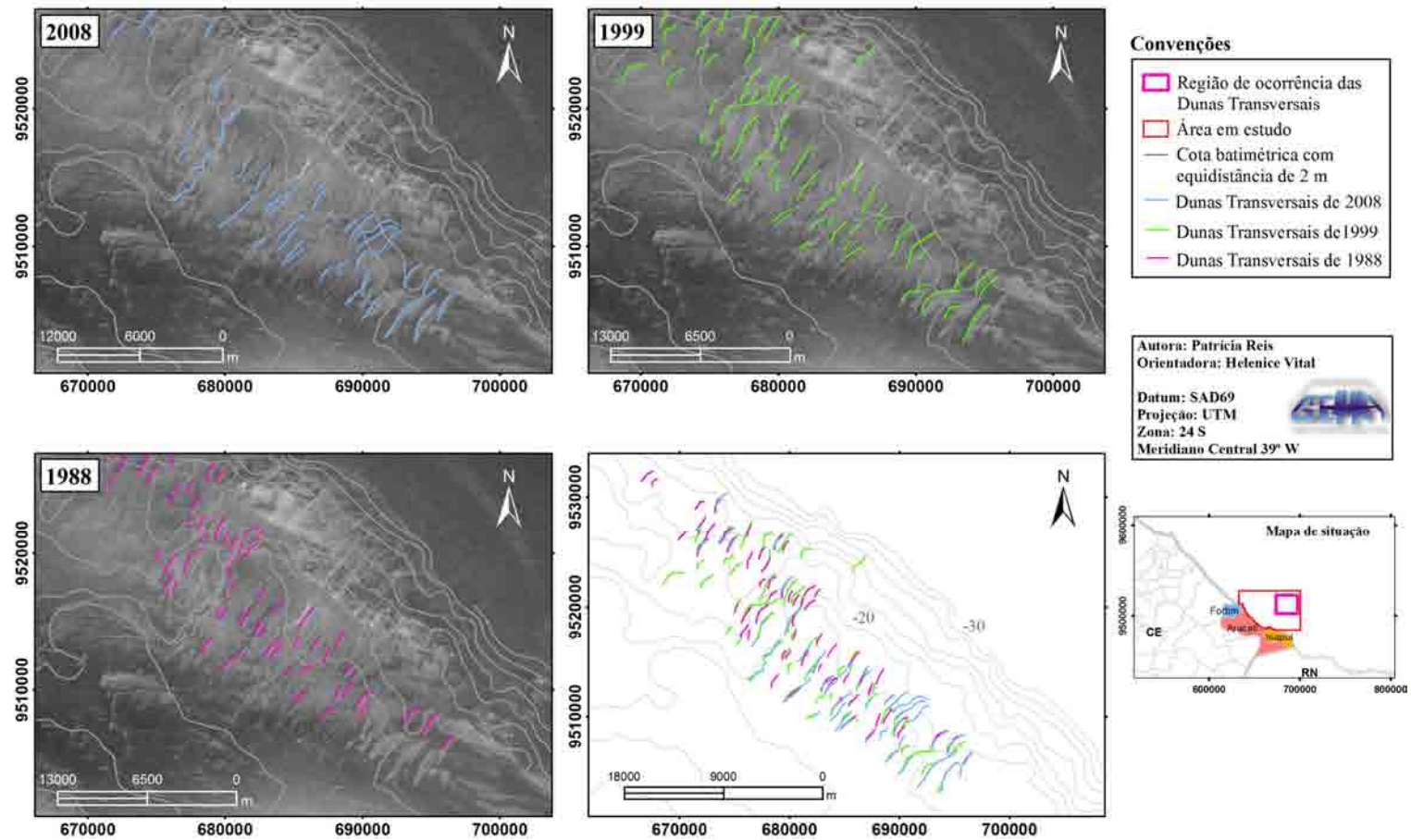


Figura 4.14 – Carta Imagem ilustrando a análise temporal realizada por comparação de imagens de satélite LANDSAT 5 TM composição I1 anos 1988, 1999 e 2008.

---

Trabalhos como Tabosa (2002), Lima (2006), Santos *et al.* (2007) identificam linhas de *beachrocks* em áreas adjacentes a área em estudo, no Rio Grande do Norte.

Estes afloramentos rochosos também são encontrados em pontos isolados distribuídos ao longo do assoalho marinho, ou como grandes corpos aflorantes (Fig. 4.18 a 4.26).

A carta imagem, figura 4.18 e 4.19, ilustra a existência de um possíveis afloramentos rochosos a uma profundidade de cerca de 14 m. Corpo rochoso aflorante com geometria concava, apresentando eixo maior paralelo a costa com cerca de 5 km e eixo menor perpendicular a costa com cerca de 6 km de extensão. Três perfis batimétricos foram traçados de modo a ilustrar a ocorrência do afloramento rochoso (Fig 4.23 a 4.26).

#### **4.2.6. Paleocanais Submersos**

Na área em estudo foram identificadas feições, provavelmente, relacionadas a um complexo de paleocanais e bordas de paleocanais submerso com área de abrangência de 892,5 km<sup>2</sup>. Estes complexos de paleocanais apresentam eixo maior, paralelo a costa, apresentando cerca de 47 km e eixo menor, perpendicular a costa com cerca de 35 km de extensão. Os paleocanais principais apresentam orientações predominantes N-S. O maior paleocanal, localizado no centro da área do complexo, apresenta cerca de 30 km, bifurcando-se à uma profundidade aproximada de 16 m, apresentando seus seguimentos, 8 km para cada lado, devido a presença de um divisor de água. Outro canal principal, localizado nas adjacências do rio Jaguaribe, apresenta cerca de 15 km de extensão, atingindo profundidade máxima 11 m. Estes dois paleocanais principais apresenta conexão bem definida com o continente. Já o terceiro paleocanal à leste da área, com uma extensão de cerca de 18 km, e paralelo ao paleocanal principal maior, não apresenta conexão com o continente (Fig. 4.27 a 4.30).

A conformação dos paleocanais principais sugere uma possível variação na desembocadura de um rio, podendo ser relacionado a migração do atual Rio Jaguaribe, ou existência de algum outro rio que foi extinto.

Perpendicular aos paleocanais principais podem ser observados três paleocanais secundários. O primeiro mais próximo a costa, a uma profundidade de 10 m, corta os

---

dois paleocanais mais a leste da área e apresenta 30 km de extensão, o segundo, à uma profundidade aproximada de 13 m, corta apenas o paleocanal maior mais a leste da área chegando até a região das dunas transversais encaixando-se na região de interdunas, apresentando 60 km de extensão e por fim, o terceiro paleocanal localizado a uma profundidade de 17 m, com extensão de 7,6 km.

Trabalhos anteriores (Oliveira, 2007) fazem referência a esse paleocanal como sendo uma antiga desembocadura do Rio Jaguaribe e que esse curso esteja migrando para oeste da área, configurando sua posição atual. Afirmarões quanto a essa natureza só podem ser corroboradas com estudos mais detalhados. O que se pode afirmar é que o curso do rio obedece um padrão estrutural do embasamento, como mostra o mapa de anomalia do relevo de Oliveira (2007) associado ao complexo de paleocanais e diques marginais, figura 4.27 a 4.30.

Registros sonográfico apresenta uma geometria sigmoideal (Fig. 4.31 e 4.32) encontrada somente na área de ocorrência do complexo de paleocanal e interpretada, neste trabalho, como sendo evidência da existência desse paleocanal. Rocha (2008), identifica geometria semelhantes na Foz do rio Açu (RN) e as associa a canais submersos.

A comparação de imagens de satélite de períodos diferentes, com recobrimento temporal de 20 anos, utilizadas neste trabalho, ilustra a variação quanto ao preenchimento e erosão do canal ao longo dos anos. No ano de 1988 e 2008 o canal aparenta estar preenchido (Fig. 4.33). O que nos leva a acreditar que o Alto de Icapuí preserva a configuração atual do paleocanal, sendo seu vale preenchido e erodido de acordo com a disponibilidade de material trazido pela deriva litorânea ou os pequenos rios presentes na área. Estando, a disponibilidade de material, condicionado pelo clima, presença e ausência de chuva. Estudos detalhados devem ser realizada a fim de corroborar essa interpretação.

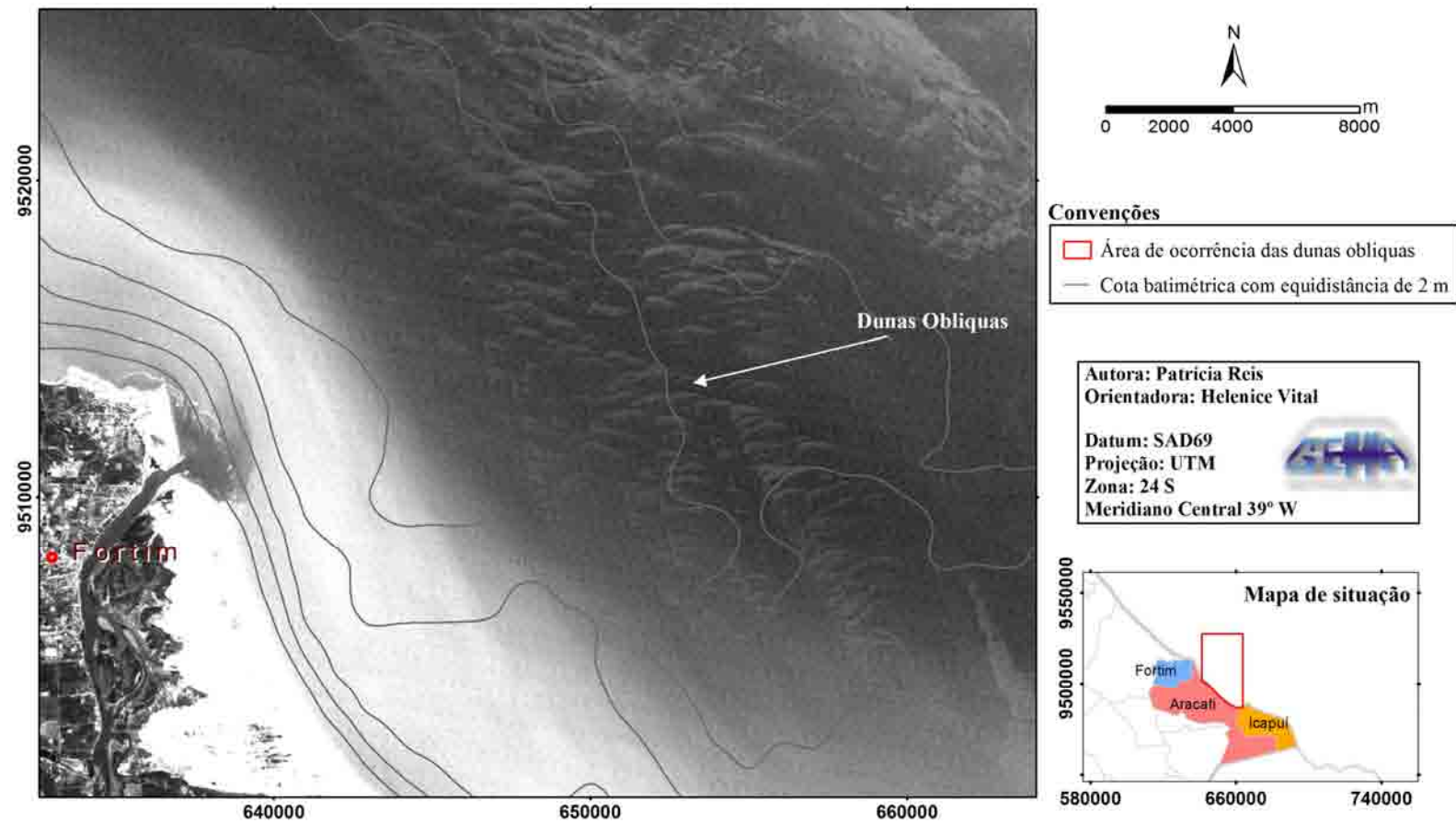
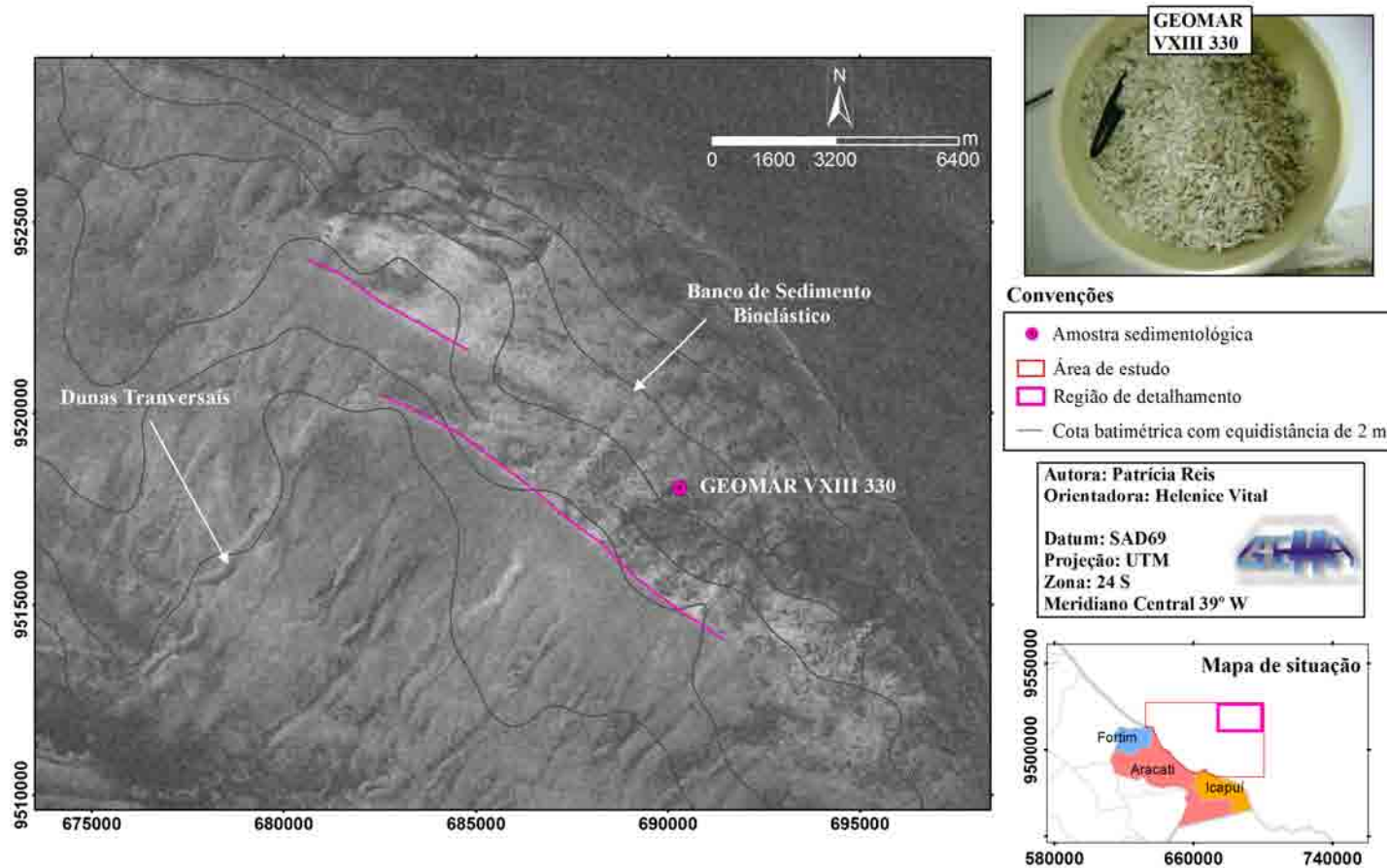


Figura 4.15 – Carta Imagem ilustrando as dunas obliquas, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1.

---

#### **4.2.7. Leito Plano**

Regionalmente a plataforma continental apresenta relevo bastante acidentado. Entretanto, localmente também pode ser observado leito plano, como mostra o registro do sonar de varredura lateral (Fig. 4.34, 4.35 e 4.36), interrompido por dunas, afloramentos rochosos ou vales submersos.



**Figura 4.16** Carta Imagem da região de banco de sedimentos bioclásticos ilustrando a existência de um contato bem marcado entre as dunas e o banco de sedimentos e existência de amostra sedimentológica, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1.

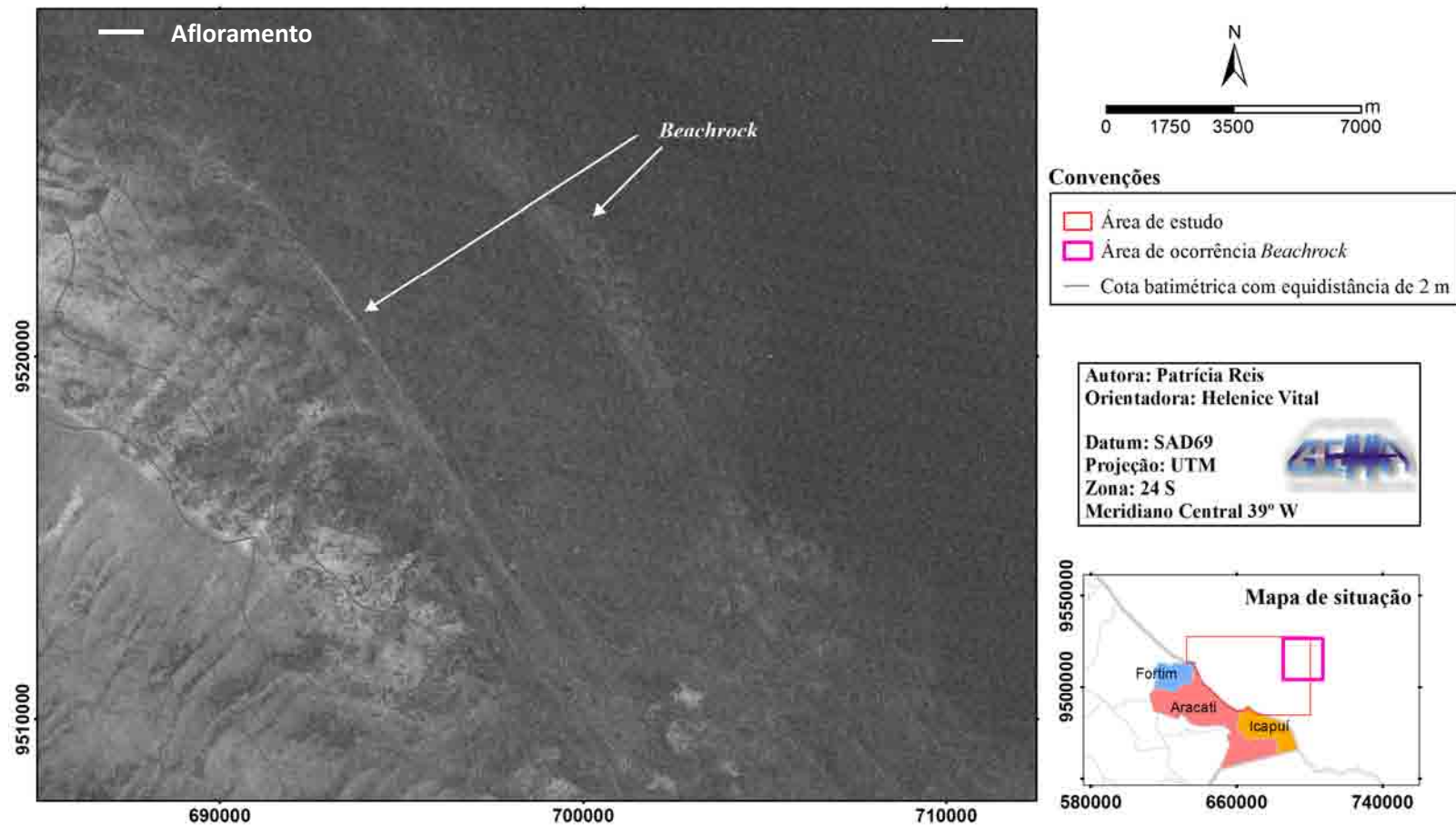


Figura 4.17 – Carta Imagem ilustrando a ocorrência de linhas de *beachrocks*, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição I1.

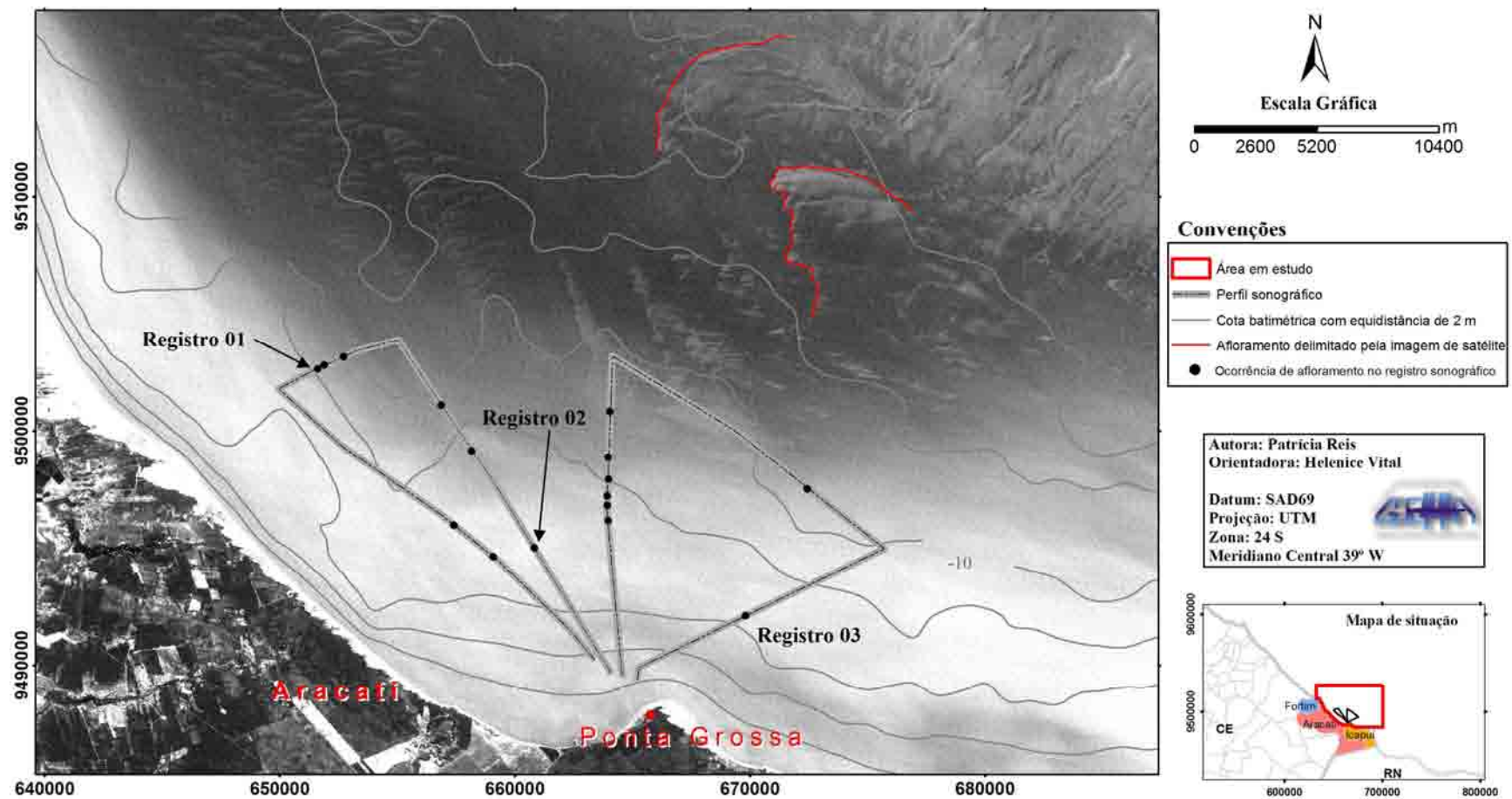
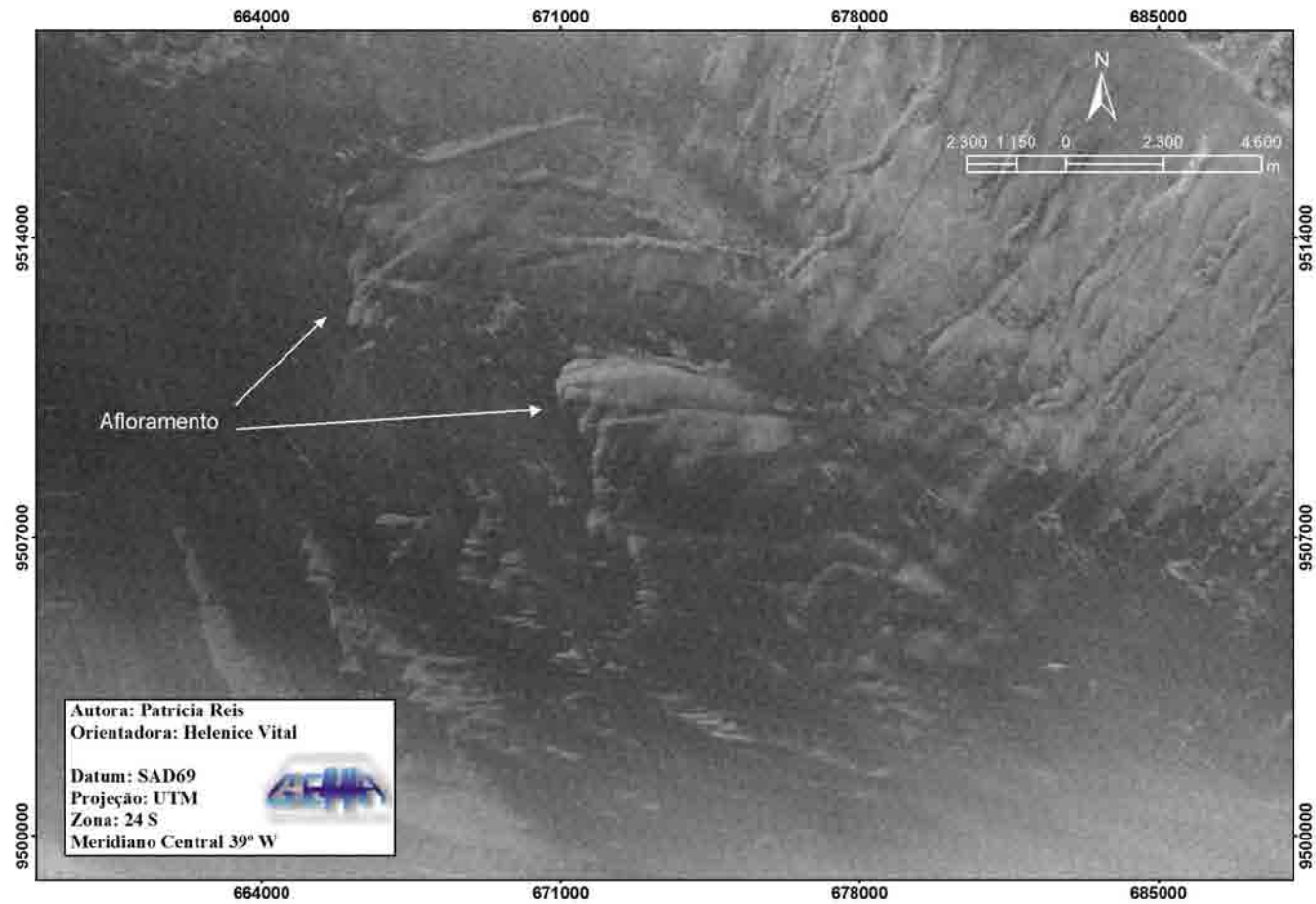
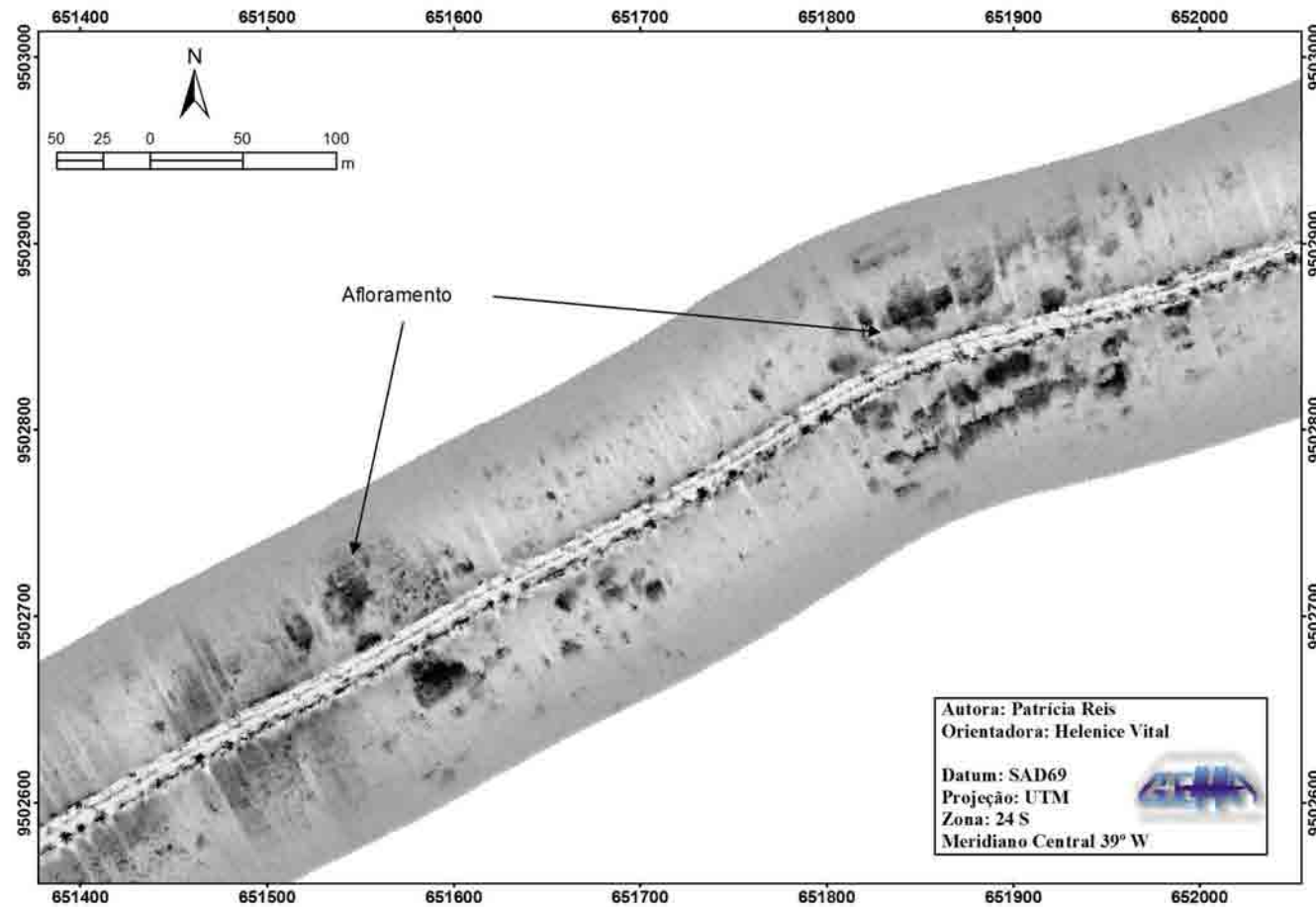


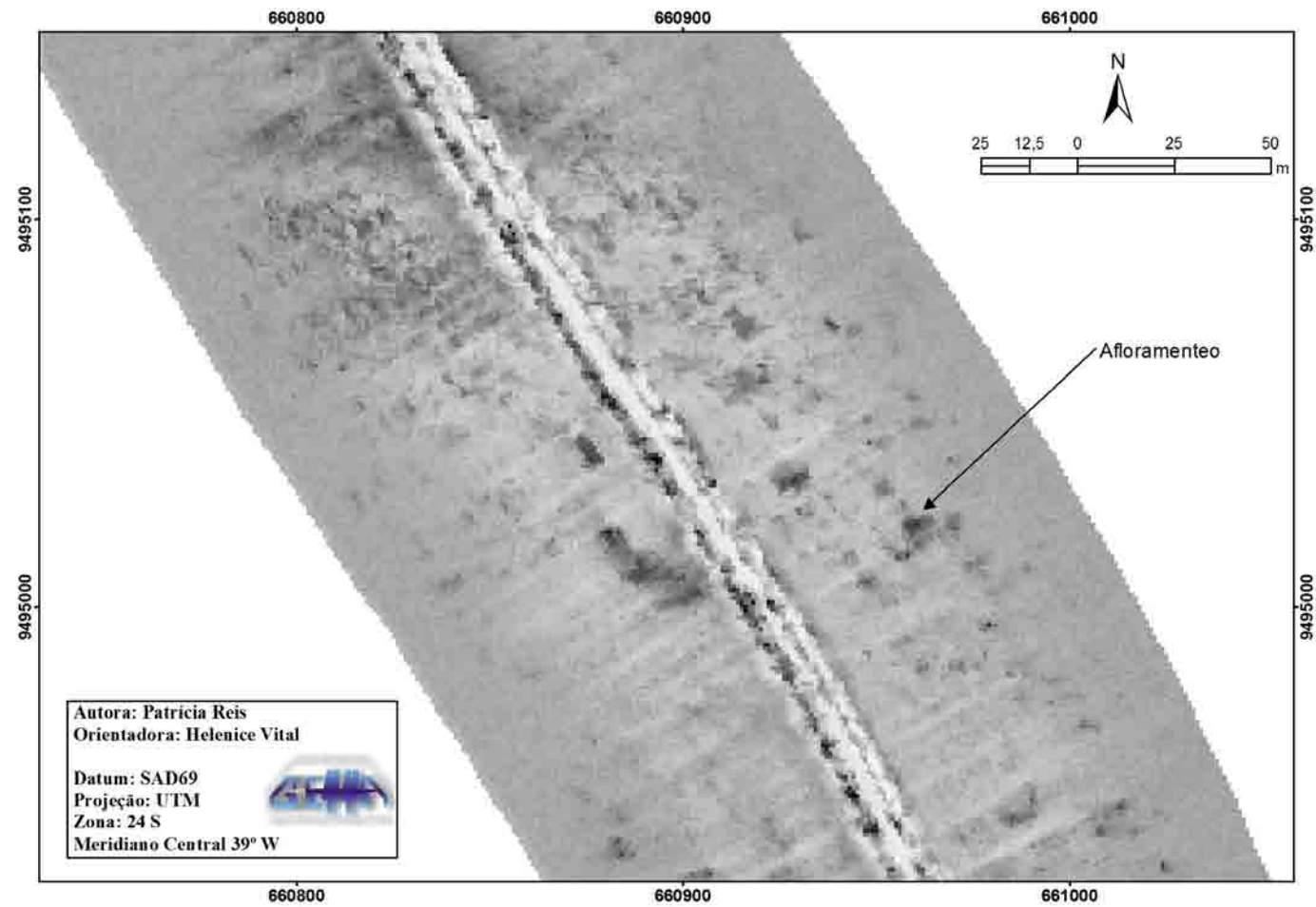
Figura 4.18 – Carta Imagem ilustrando a ocorrência de afloramentos rochosos, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM I1 de 2008 e registro sonográfico. Registro 01, 02 e 03 ilustrados nas figuras 4.20, 4.21 e 4.22.



**Figura 4.19 – Carta Imagem ilustrando a delimitação dos afloramentos rochosos, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM I1 de 2008, com localização geográfica na figura 4.18.**



**Figura 4.20 – Registro sonográfico evidenciando a ocorrência de afloramentos rochosos, com localização geográfica na figuras 4.18, representado pelo registro 01.**



**Figura 4.21 – Registro sonográfico evidenciando a ocorrência de afloramentos rochosos pontuais, com localização na figuras 4.18, representado pelo registro 02.**

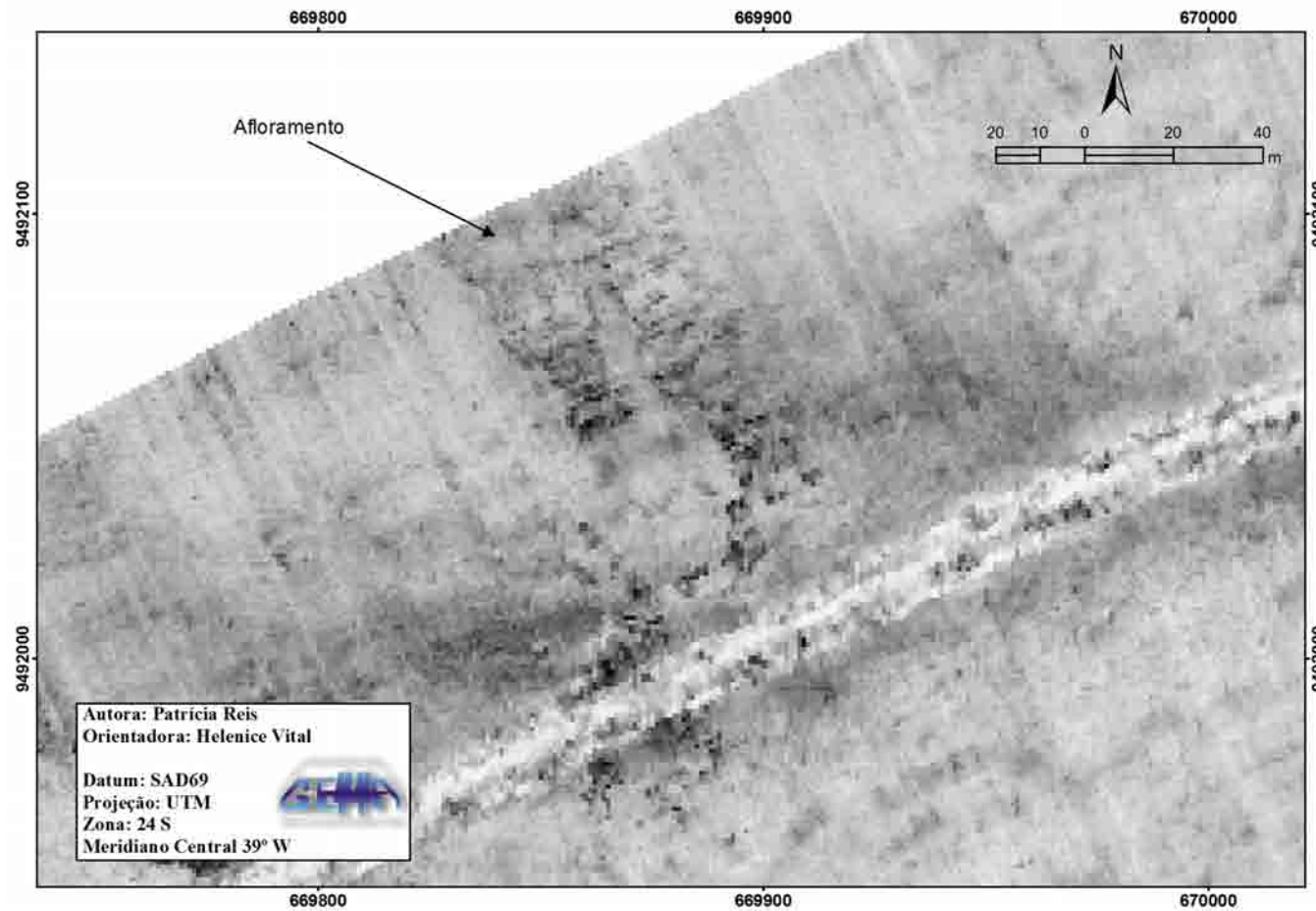
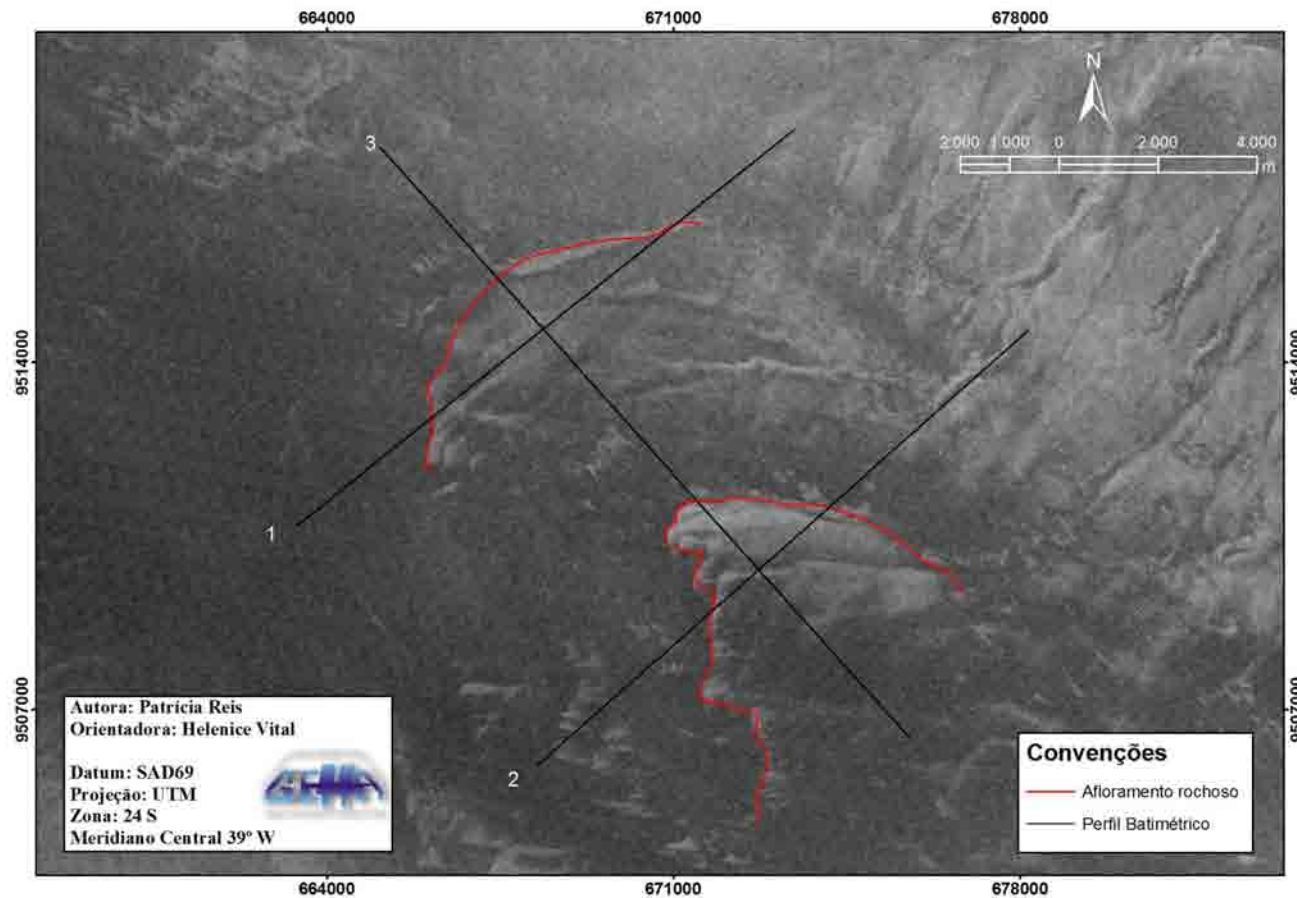


Figura 4.22 – Registro sonográfico evidenciando a ocorrência de afloramentos rochosos, com localização na figuras 4.18 , representado pelo registro 03.



**Figura 4.23 – Carta Imagem ilustrando a delimitação dos afloramentos rochosos e localização dos perfis topográficos 1, 2 e 3, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM I de 2008.**

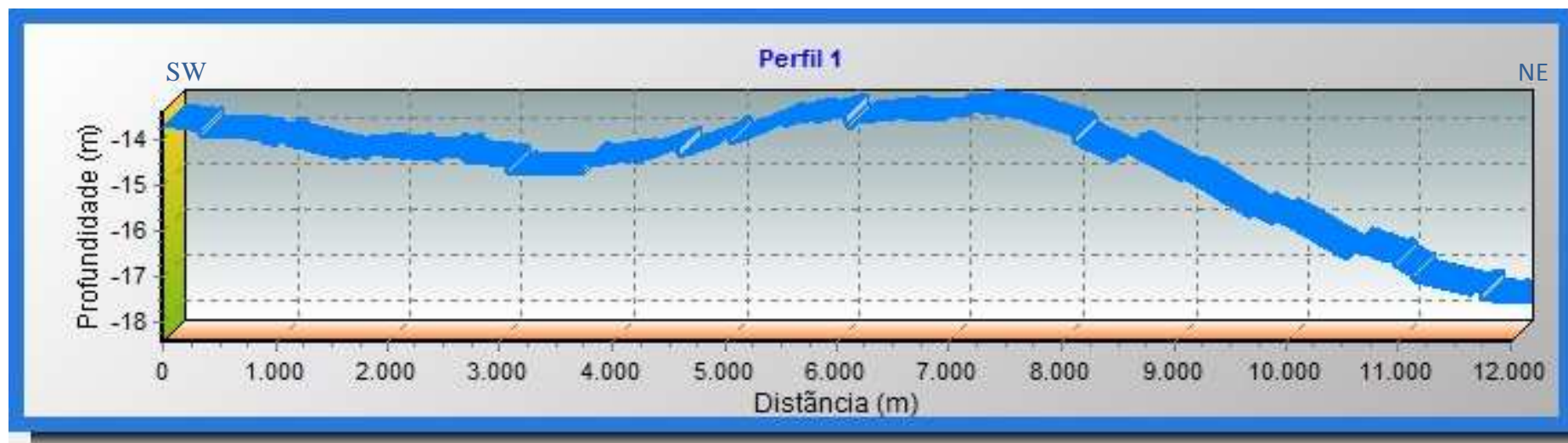


Figura 4.24 – Perfil Batimétrico 1 dos afloramentos rochosos, com localização na figura 4.23.

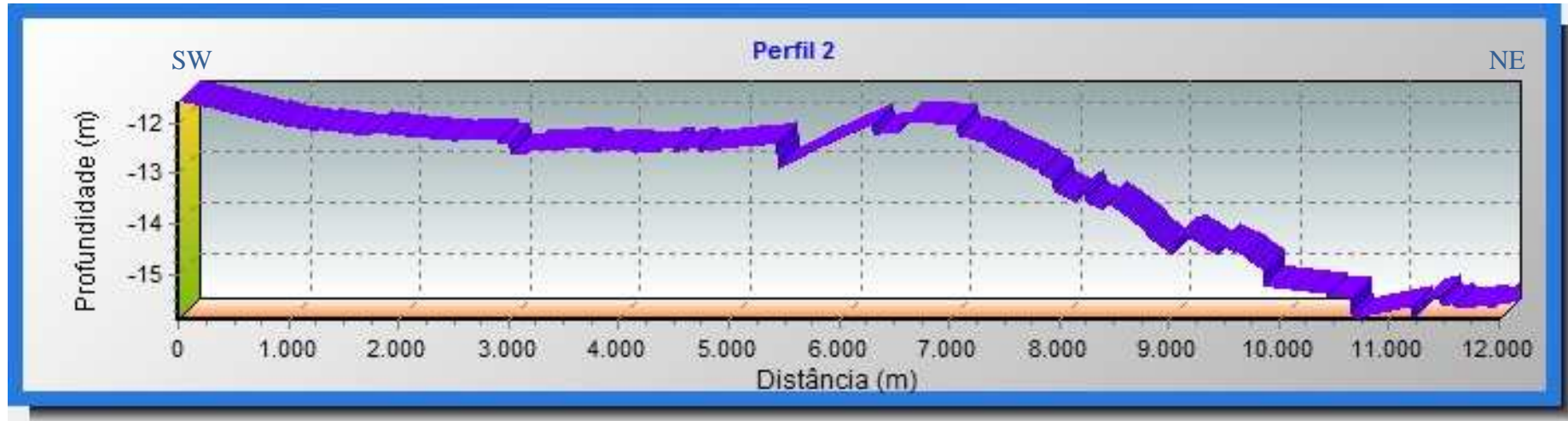


Figura 4.25 – Perfil Batimétrico 2 dos afloramentos rochosos, com localização na figura 4.23.

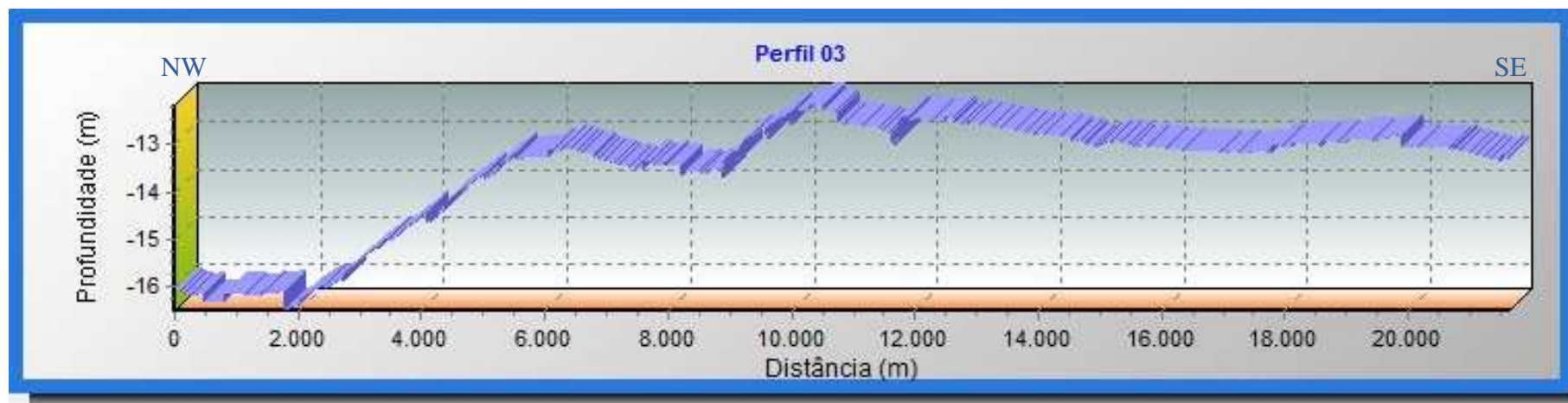


Figura 4.26 – Perfil Batimétrico 3 dos afloramentos rochosos, com localização na figura 4.23.

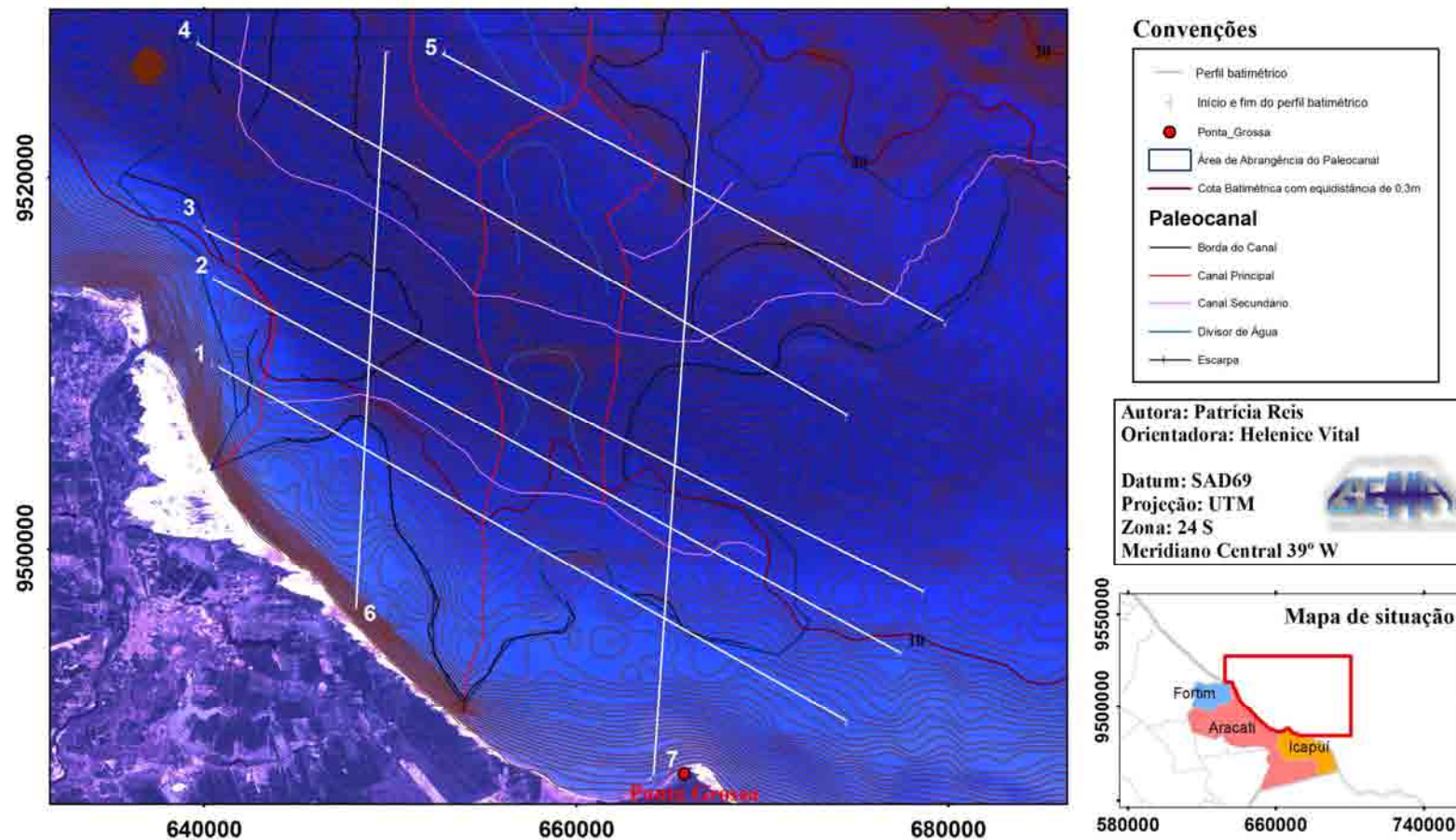


Figura 4.27 – Carta imagem do paleocanal e localização dos perfis batimétricos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição R5G2B111.

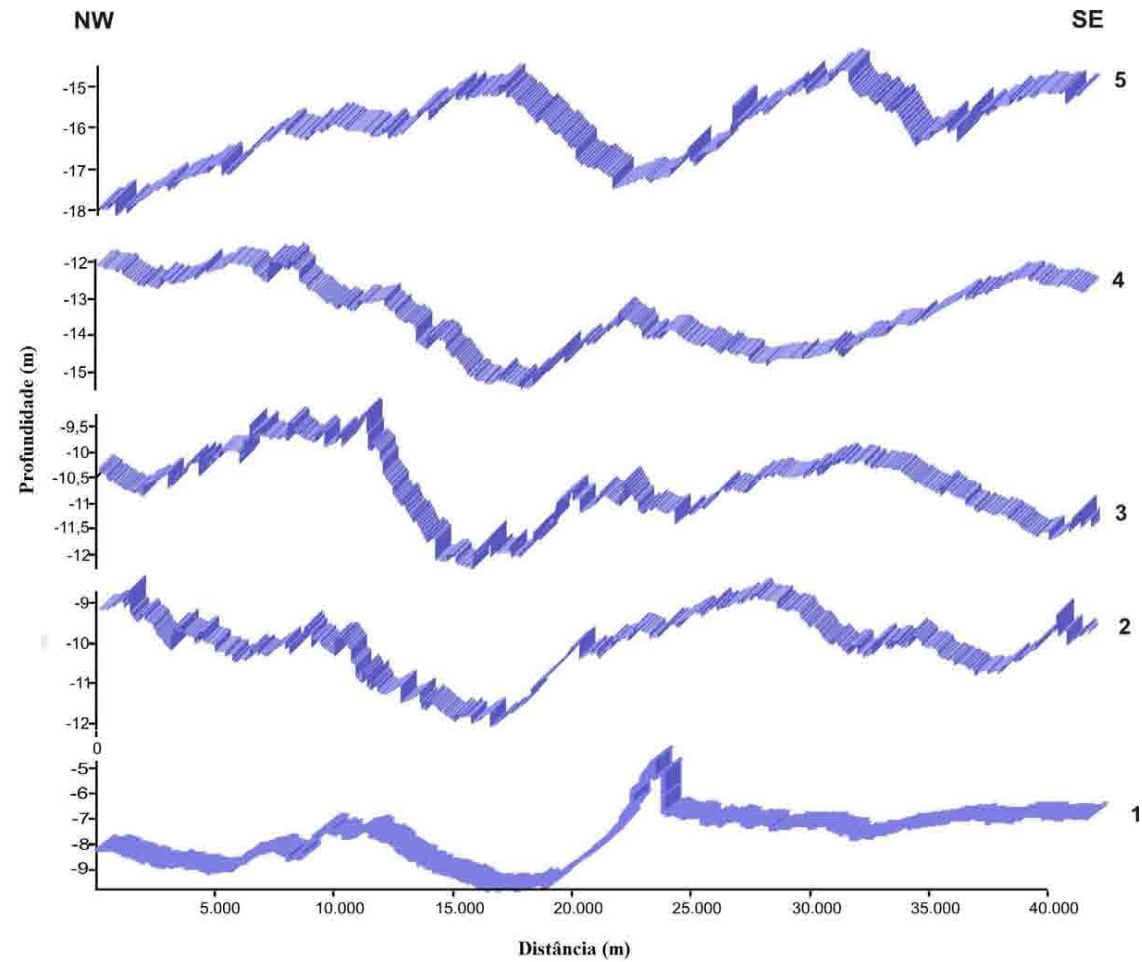


Figura 4.28 – Perfis batimétricos 1, 2, 3, 4 e 5, paralelos a linha de costa, com localização geográfica na figura 4.27.

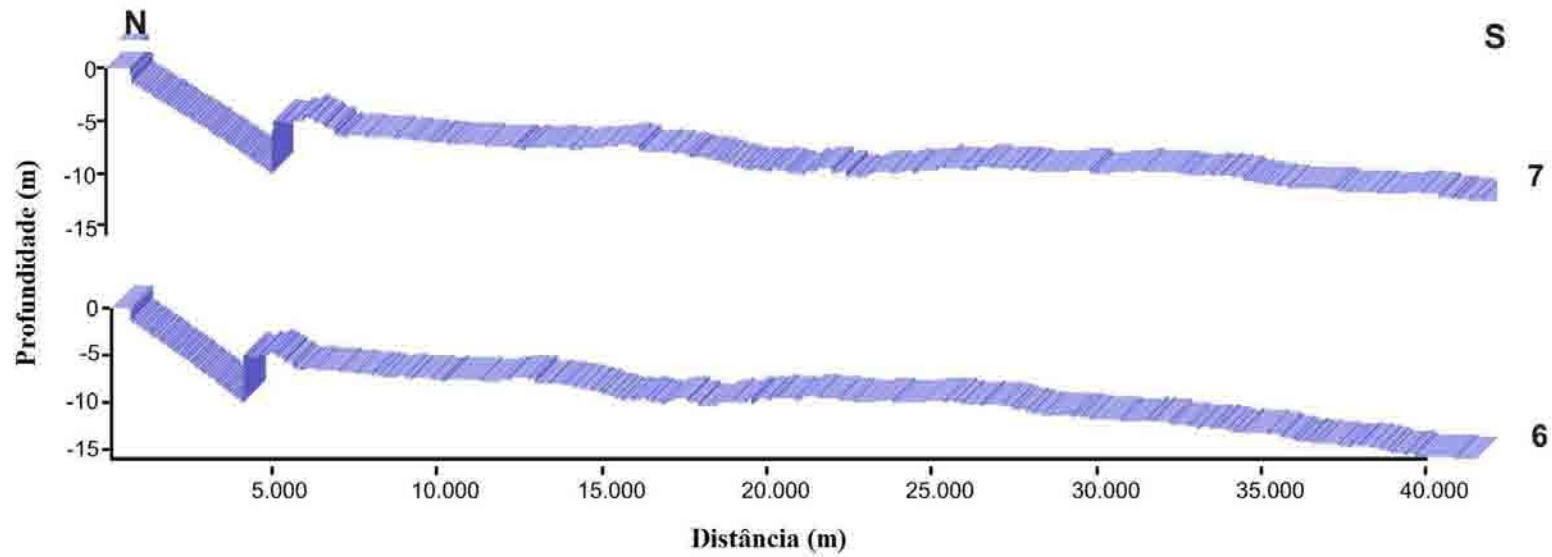


Figura 4.29 – Perfis batimétricos 6 e 7, perpendiculares a linha de costa, com localização geográfica na figura 4.27.

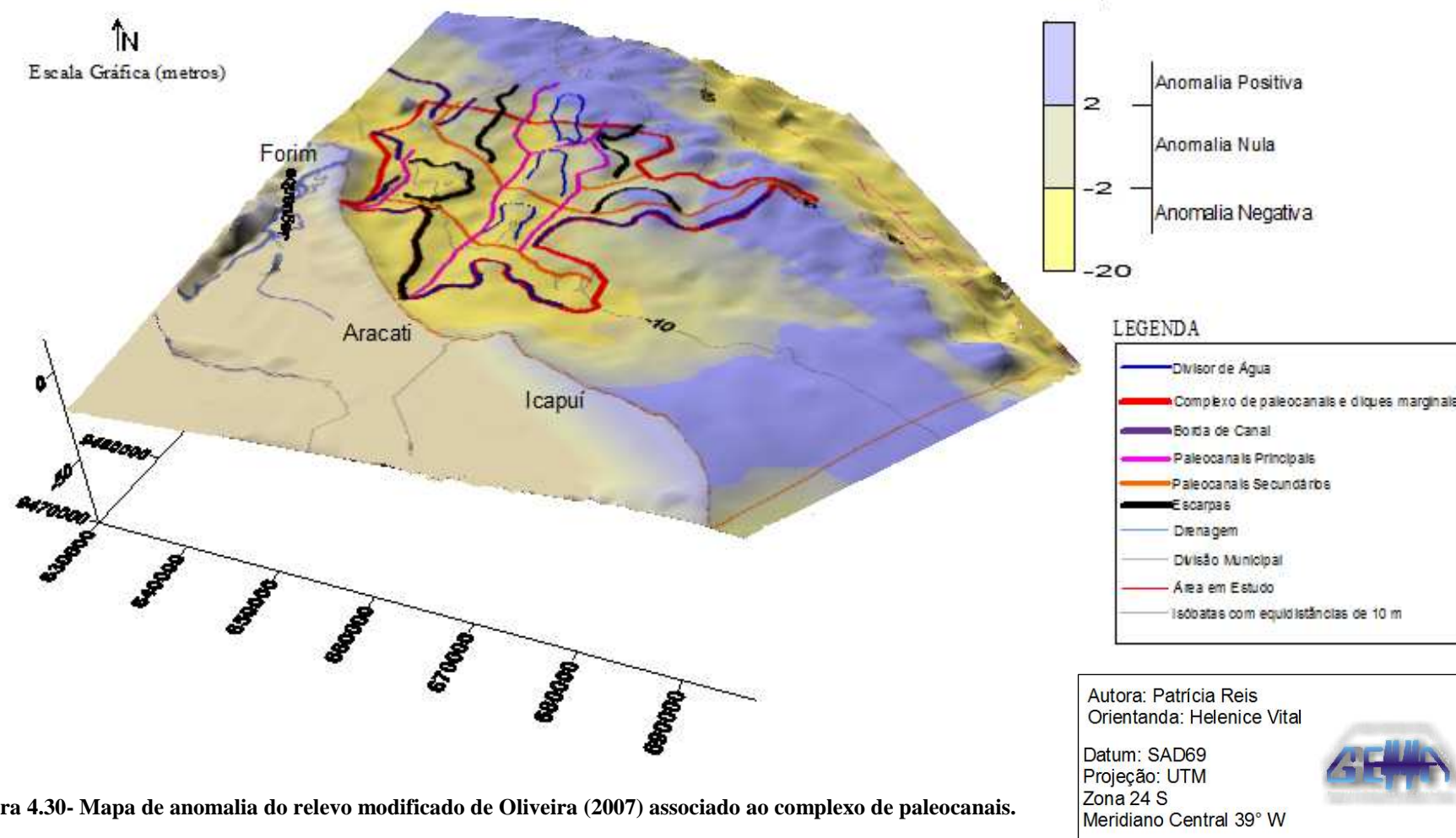


Figura 4.30- Mapa de anomalia do relevo modificado de Oliveira (2007) associado ao complexo de paleocanais.

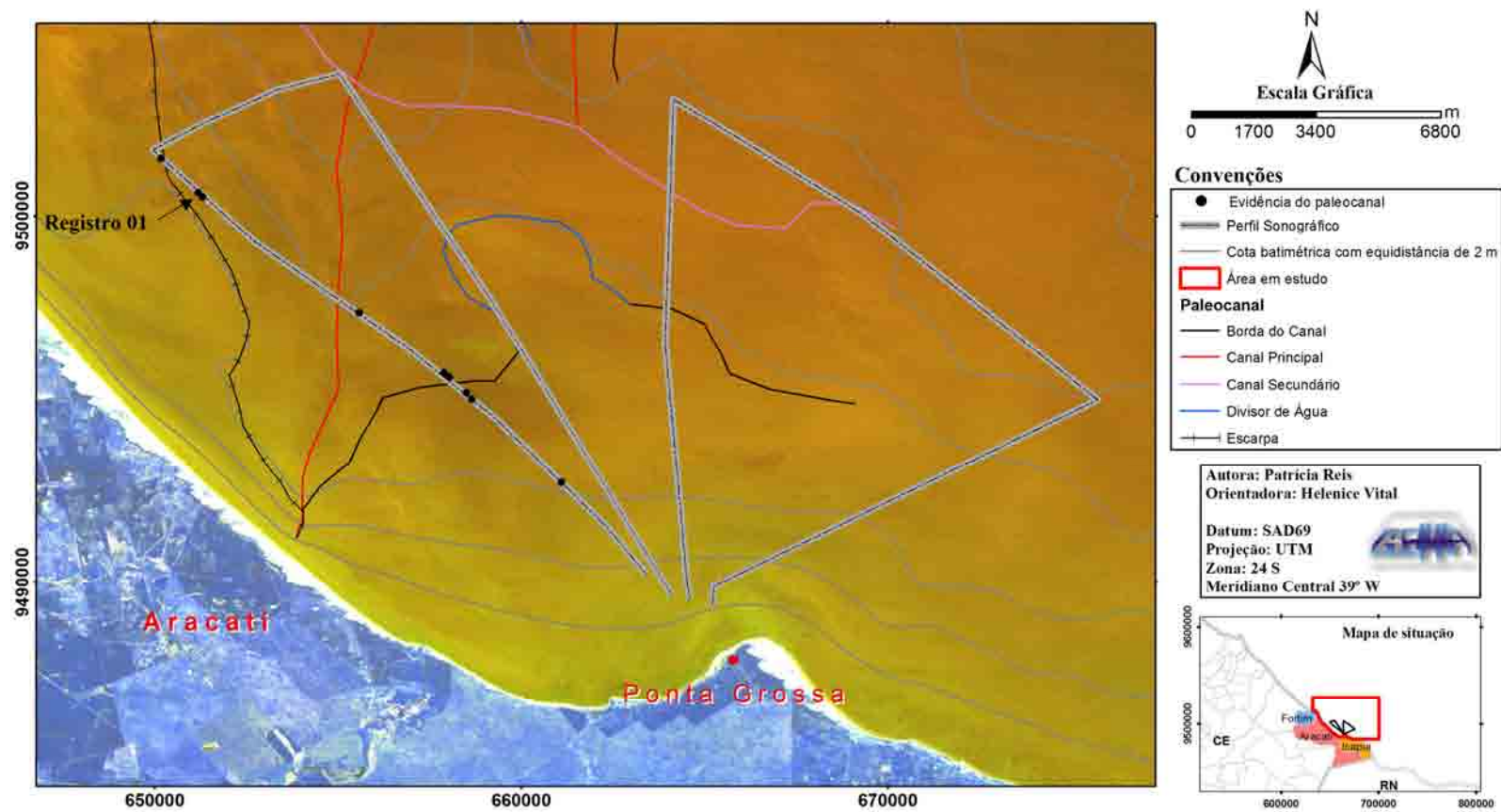
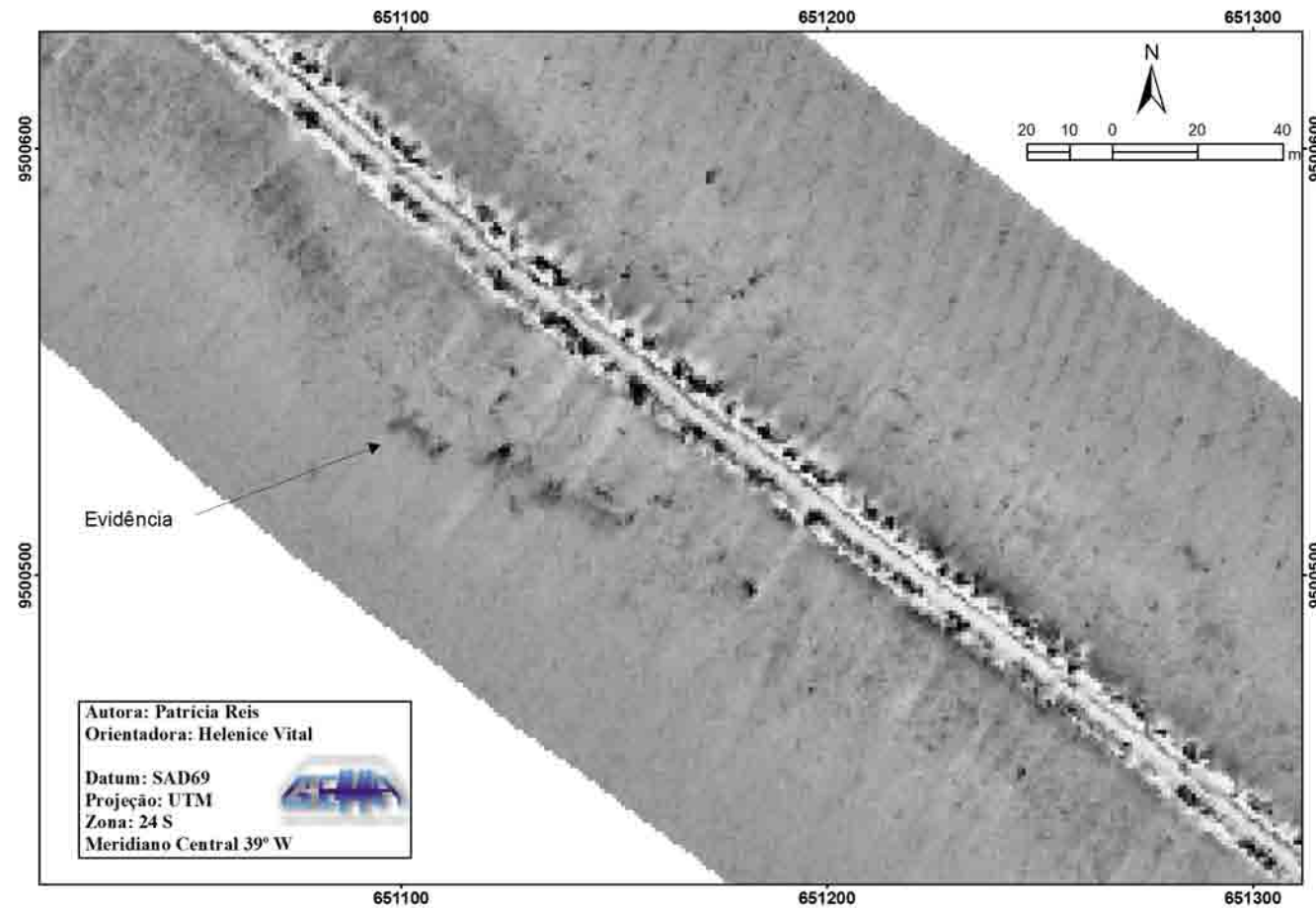
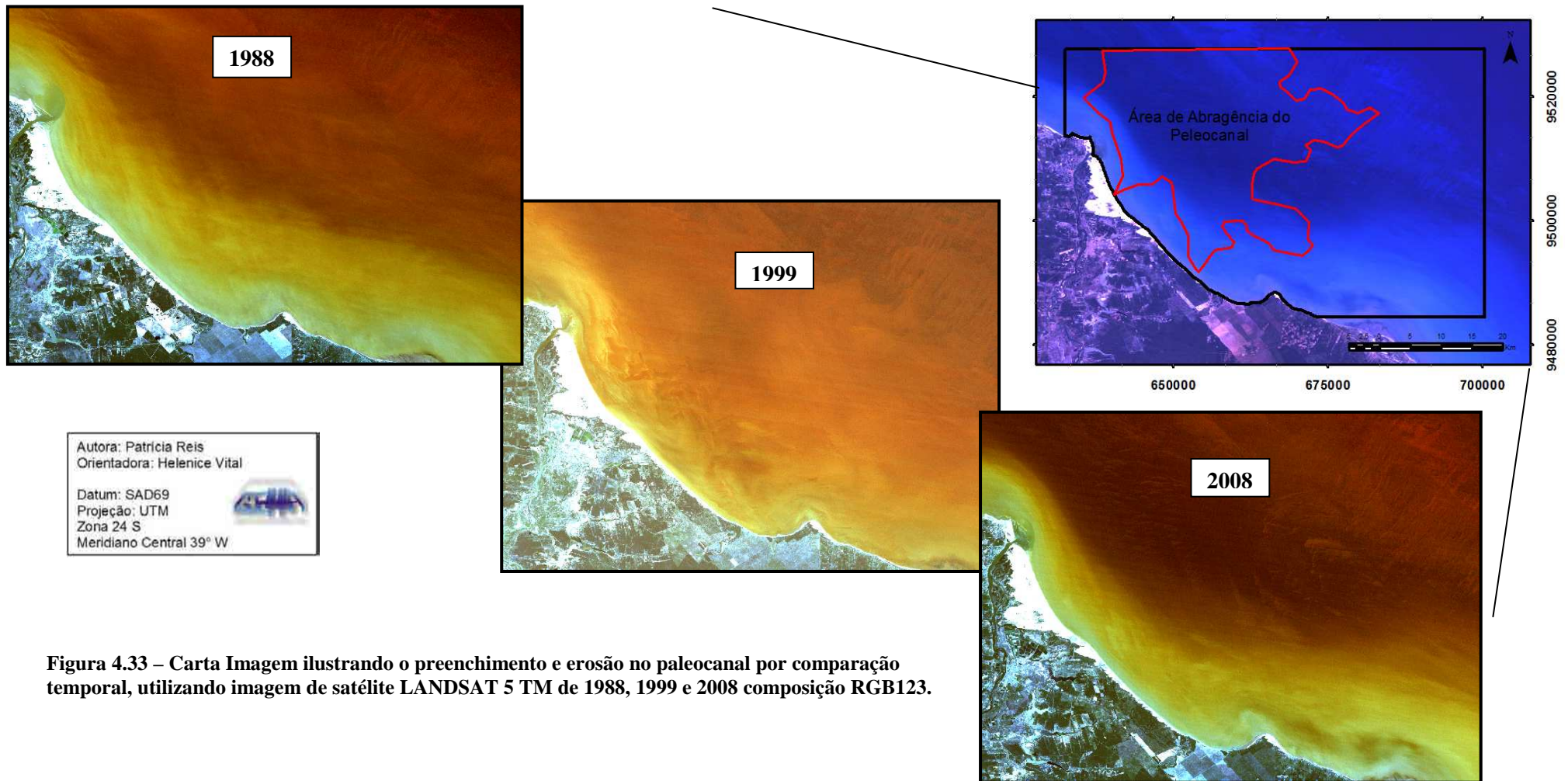


Figura 4.31 – Carta Imagem ilustrando a ocorrência do paleocanal no registro sonográfico, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM RGB321 de 2008.



**Figura 4.32 – Geometria sigmoideal identificada no sonar de varredura lateral somente na região de ocorrência do paleocanal, associada à ocorrência do paleocanal, com localização na figura 4.31.**



**Figura 4.33 – Carta Imagem ilustrando o preenchimento e erosão no paleocanal por comparação temporal, utilizando imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 1988, 1999 e 2008 composição RGB123.**

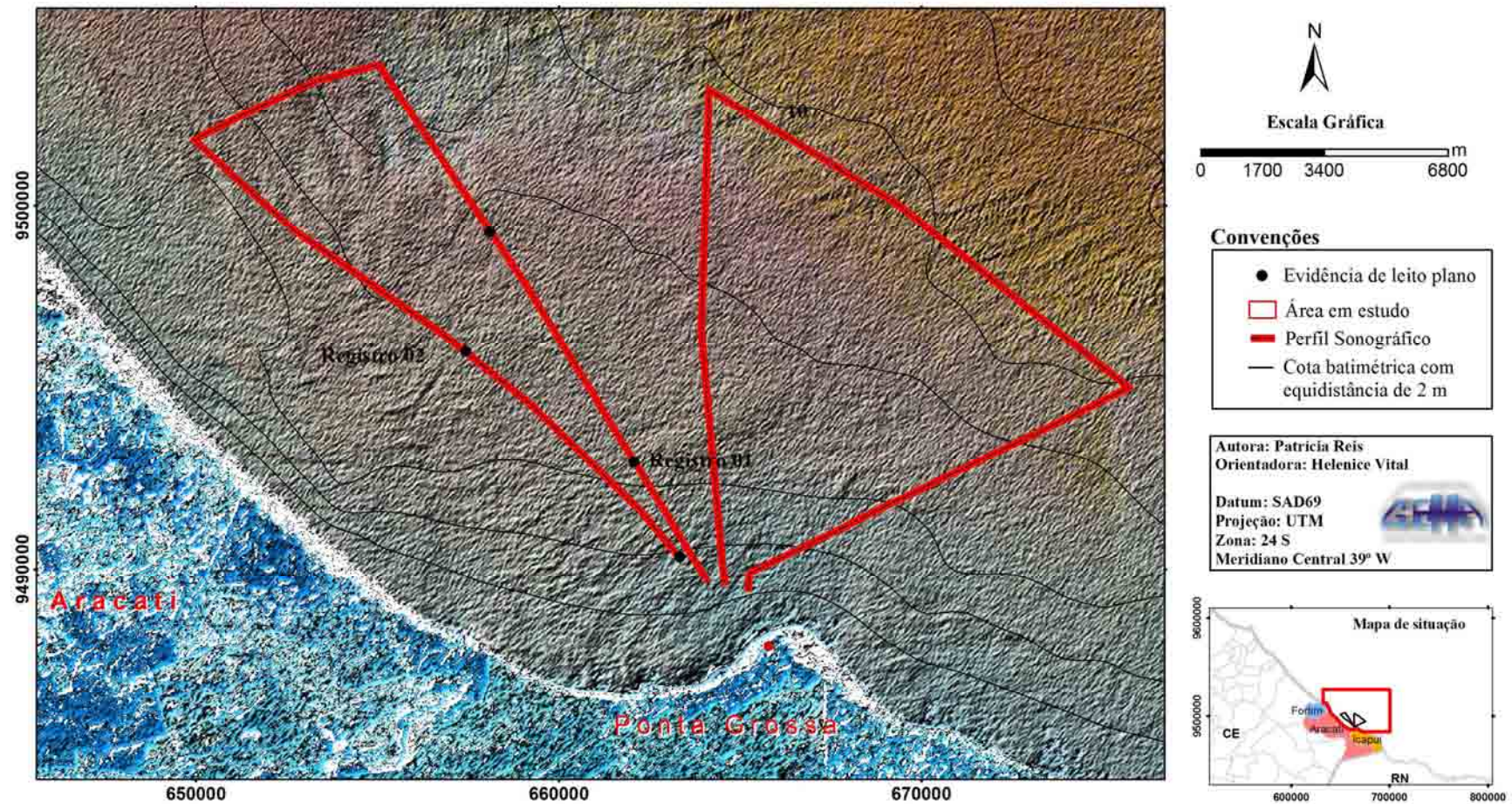


Figura 4.34 – Registro sonográfico ilustrando a ocorrência de leito plano, utilizando, imagem LANDSAT 5 TM de 2008 R1G2B3I1 com filtro direcional NW.

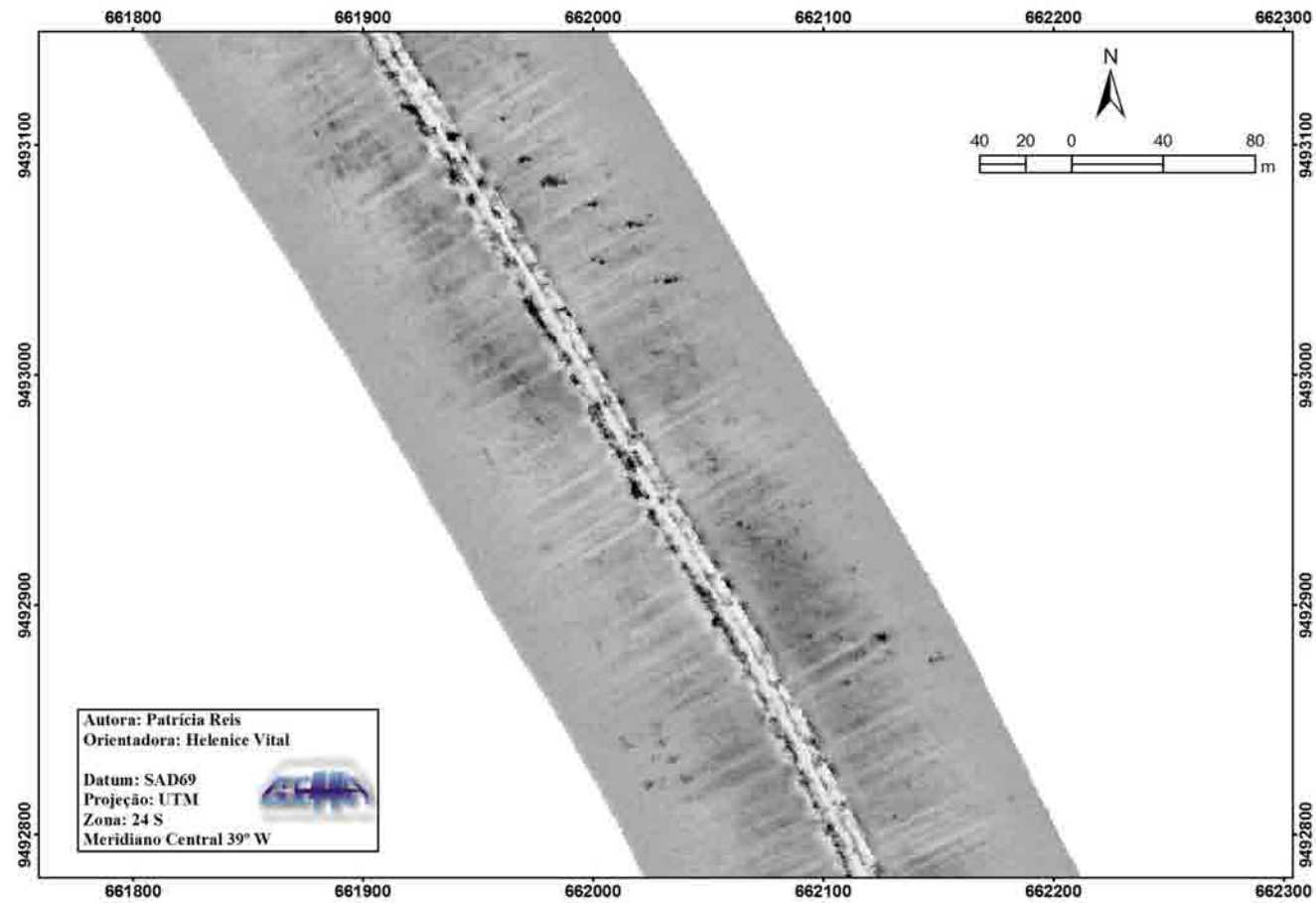


Figura 4.35 – Registro sonográfico 01, ilustrando a ocorrência de leito plano, com localização geográfica na figura 4.34.

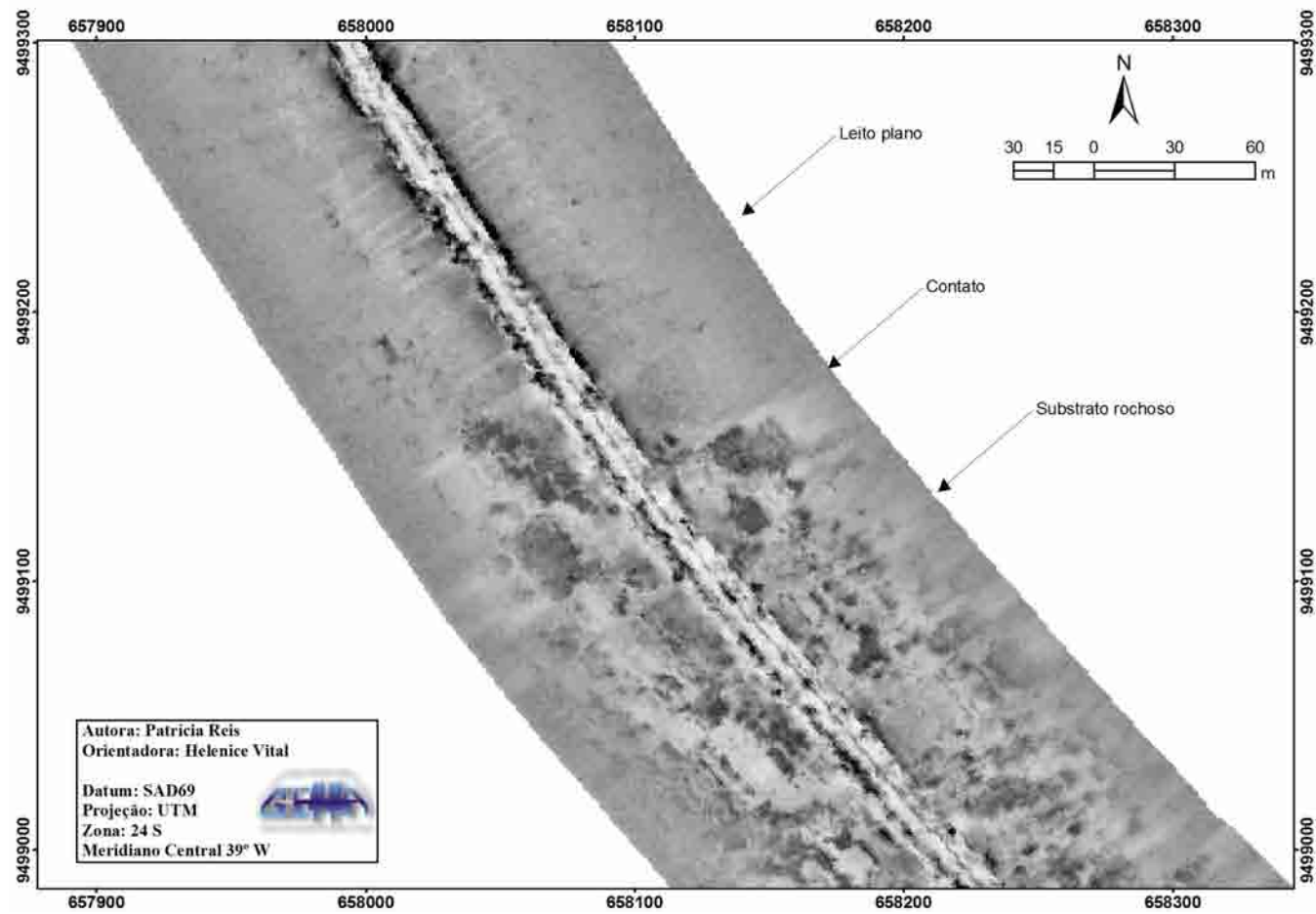


Figura 4.36 – Registro sonográfico 02, ilustrando a ocorrência de leito plano em contato com substrato rochoso, com localização geográfica na figura 4.34.

---

## 4.3. Faciologia

### 4.3.1. Distribuição do Teor de Carbonato de Cálcio

A amostragem pontual da concentração de carbonato de cálcio (fig. 4.37), embora estejam irregularmente distribuídas na área de estudo, ilustra bem o caráter misto da Plataforma Continental Cearense. Em que, maiores concentrações de carbonato de cálcio podem ser encontradas em sedimentos localizados na porção mais distal à costa.

Observando-se (fig. 4.38) que na área em estudo os valores superiores a 90% concentram-se principalmente na adjacência da localidade de Icapuí e valores entre 60-90% em profundidades superiores a 10m. No entanto, concentrações inferiores a 30% de carbonato de cálcio são encontradas abaixo da profundidade supracitada.

A partir da análise macroscópica, realizada durante a fase laboratorial de análise sedimentológica das amostras, pode-se observar uma grande presença de microfósseis bentônicos e de algas tipo *Halimeda*.

Ao associarmos os dados podemos observar uma grande influência da profundidade na distribuição das concentrações de carbonato de cálcio.

Faz-se necessário a realização de novas coletas sedimentológicas e de estudos mais detalhados nos sedimentos de modo a obtermos uma maior compreensão da origem e distribuição do carbonato de cálcio na área de estudo.

### 4.3.2. Mapa Faciológico

O mapa faciológico com base na classificação de Freire *et al.* (1997) modificada por Vital (2005), foi confeccionado a partir da correlação entre 97 pontos de amostragens levando em consideração a influência da batimetria, registro sonográfico e imagem de satélite. Na área em estudo foi identificada 6 fácies sedimentares, abrangendo uma área total de 2509,13 Km<sup>2</sup>, como mostra a figura 4.39.

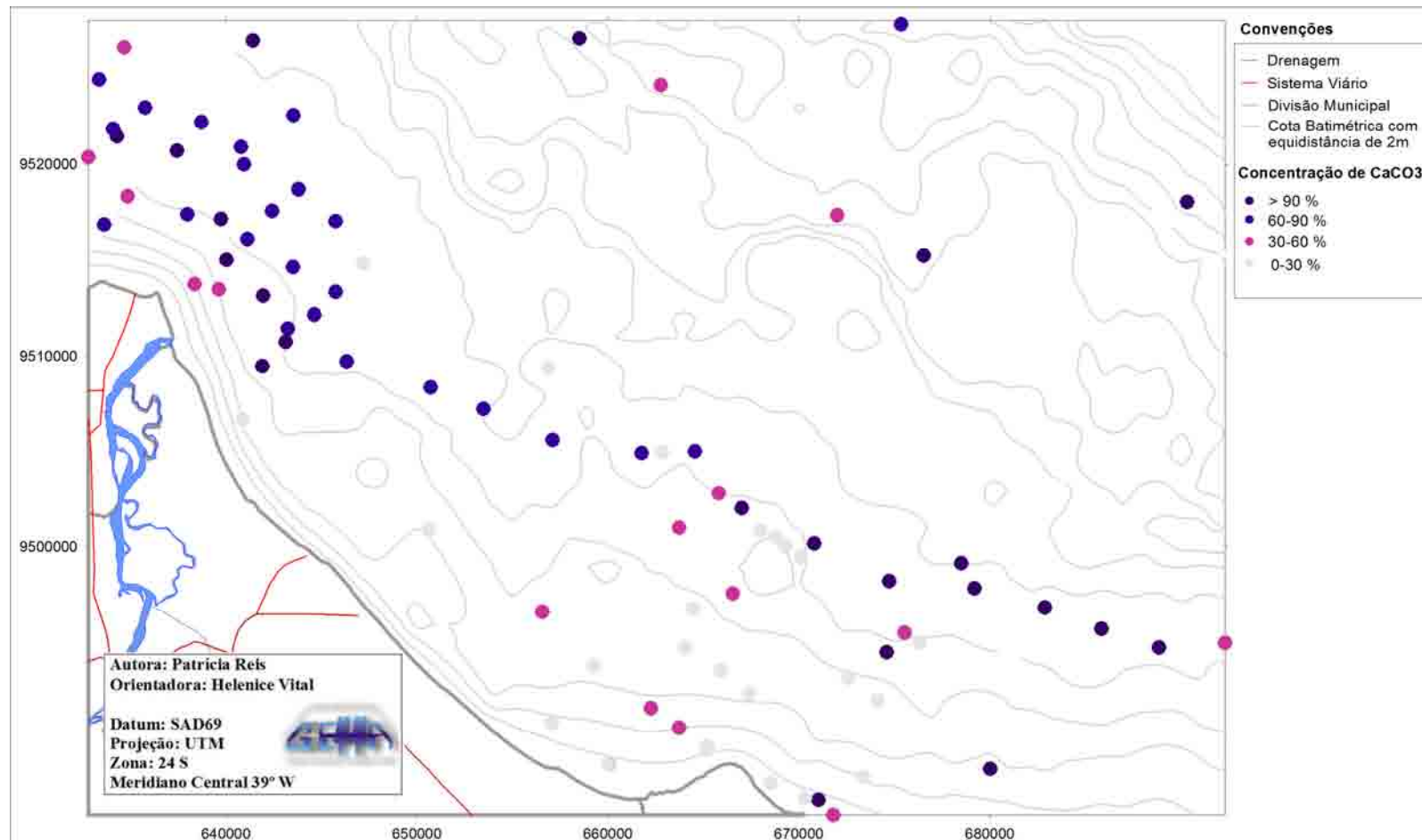


Fig. 4.37 – Mapa de localização das amostras sedimentológicas representando a distribuição do teor de carbonato de cálcio.

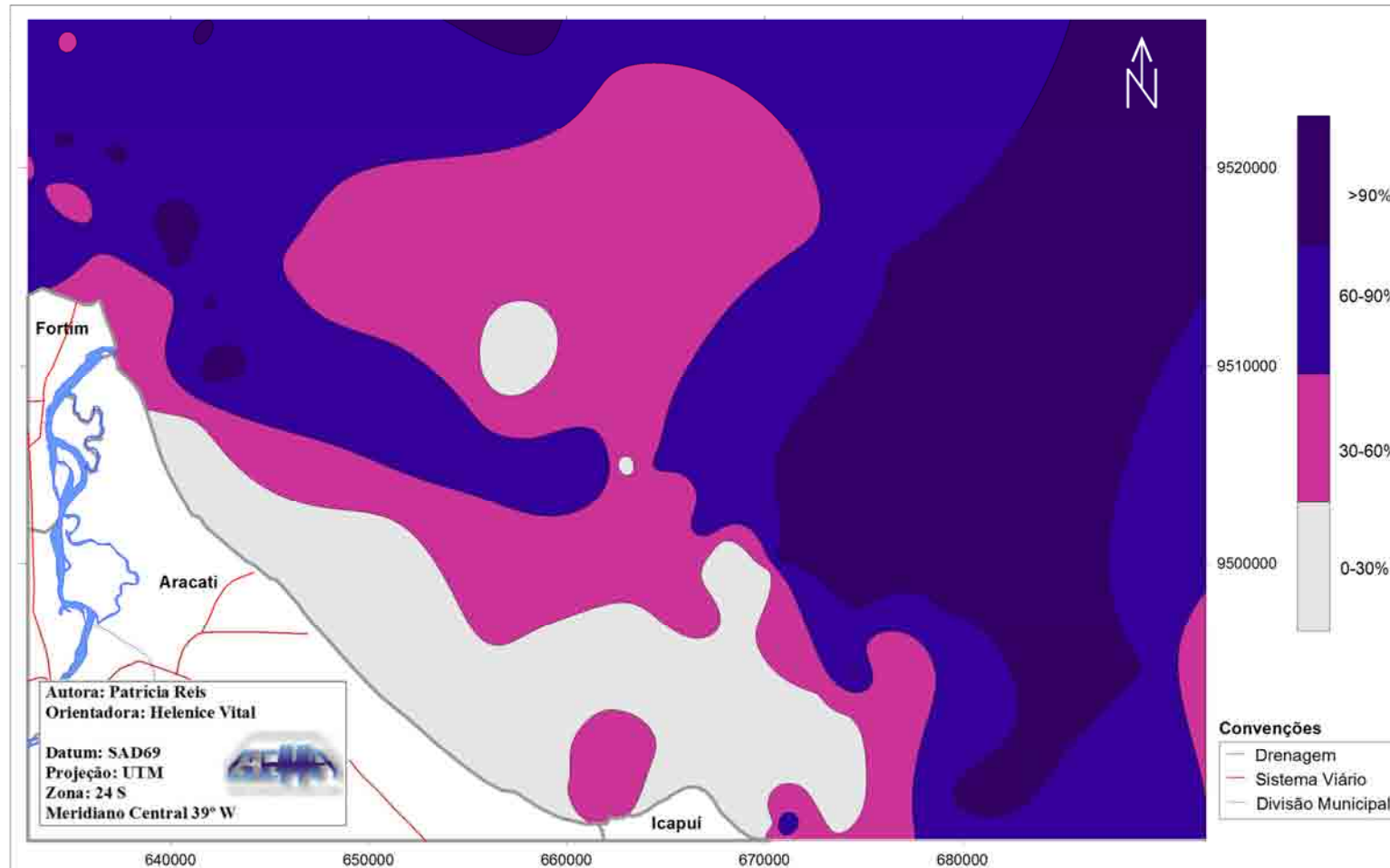


Fig. 4.38 – Mapa de distribuição teor de carbonato de cálcio.

---

#### **4.3.2.1. Areia Bioclástica**

As Areias Bioclásticas são caracterizadas por apresentarem valores superiores a 70% de carbonato de cálcio. Esta fácies abrange cerca de 1521,03 Km<sup>2</sup>, predominando na área em estudo e concentra-se principalmente em profundidades superiores a 10m. Ocorrem como uma faixa contínua onde as formas de fundo são bem desenvolvidas, abrangendo as dunas transversais.

#### **4.3.2.2. Areia Siliciclástica**

A fácies Areia Siliciclástica, elaborada por amostras com concentrações menores que 30% carbonato de cálcio, é a segunda maior fácies, com área total de aproximadamente 833,59 Km<sup>2</sup>. Encontram-se distribuídas de forma contínua, ao longo de toda a costa pronunciando-se até uma profundidade de 10m, excetuando nas adjacências da localidade de Retirinho, onde esta fácies atinge profundidade aproximada de 20 metros e apresenta-se em forma de uma língua. A fácies ocorre ainda nas adjacências da localidade de Ponta Grossa onde ocorre de forma pontual à uma profundidade de 15m. Ocorrem na zona 1, onde não há uma boa visibilidade do fundo submarino (profundidades inferiores a 10m), preenchendo o paleocanal submerso e na região onde ocorre as dunas obliquas (adjacências de Retirinho) e no início das dunas transversais (adjacências de Ponta Grossa).

#### **4.3.2.3. Areia Biosiliciclástica**

As Areias Biosiliciclásticas ocorrem a oeste da área em estudo em forma de lentes com área total de 134,72 km<sup>2</sup>, distribuídas entre a profundidade de 6 m a 18 m. Próximo a desembocadura do rio Jaguaribe ocorre uma pequena lente desta fácies, onde não há visibilidade do fundo submarino, profundidade de 8m. Esta fácies ocorre ainda como duas lentes paralela a linha de costa seguindo a cota batimétrica de -12m, onde o fundo submarino apresenta dunas obliquas. Por fim, outras duas lentes ocorrem paralelas a linha de costa seguindo a cota de -18 m.

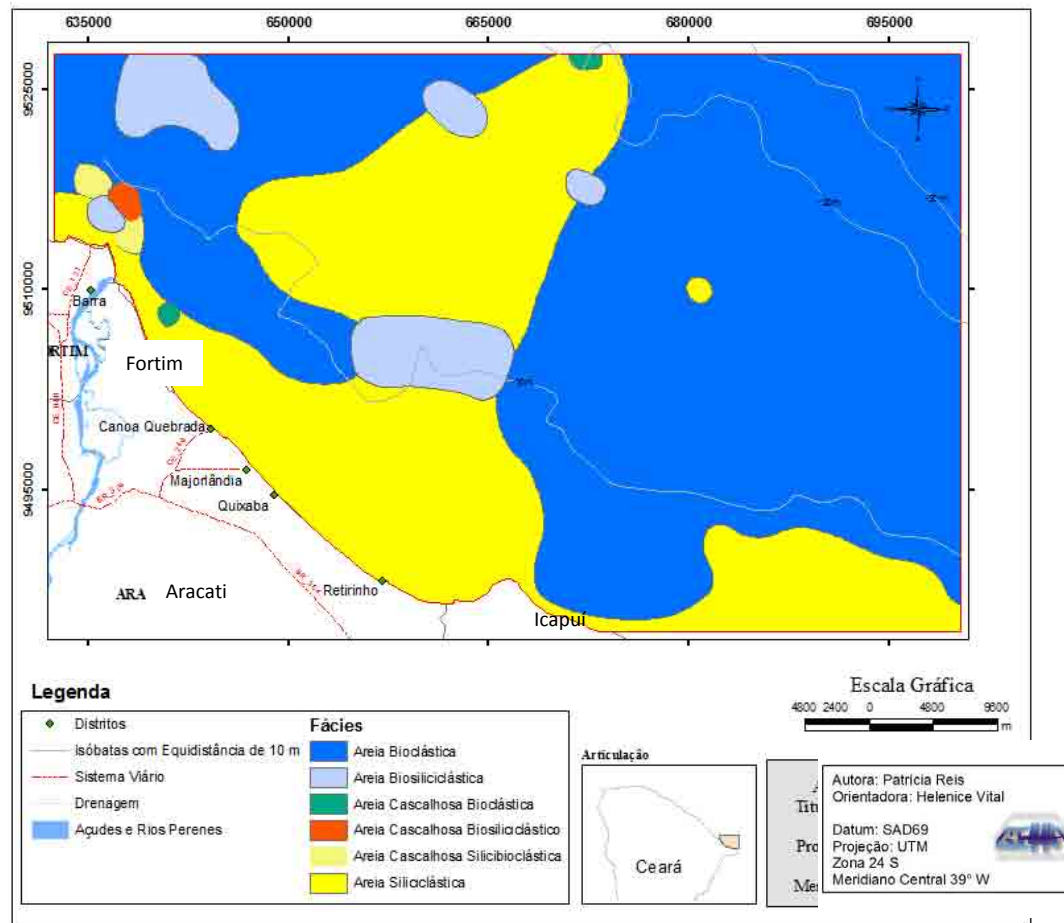


Figura 4.39 – Mapa faciológico confeccionado com base na classificação sedimentológica de Freire *et al.* (1997), modificada por Vital (2005).

---

#### **4.3.2.4. Areia Cascalhos Bioclástica**

A fácies Areia Cascalhosa Bioclástica ocorre de forma pontual próximo a oeste da desembocadura do rio Jaguaribe a uma profundidade de 8 m, estando inserida no contexto da zona 1. Esta fácies ainda ocorre a uma profundidade 20 metros no extremo oeste das dunas transversais submersas. As duas ocorrências totalizam uma área de 4,7km<sup>2</sup>.

#### **4.3.2.5. Areia Cascalhosa Biosiliciclástico**

A fácies Areia Cascalhosa Biosiliciclástica ocorre pontualmente a oeste da desembocadura do rio Jaguaribe em profundidade inferior a 10 m. Abrange uma área total de 5,1km<sup>2</sup>, estando inserida no contexto da zona 1.

#### **4.3.2.6. Areia Cascalhosa Silicibioclástica**

As Areias Cascalhosas Silicibioclásticas, com concentrações de carbonato de cálcio entre 30% e 50%, totalizam uma área aproximada de 9,97 Km<sup>2</sup>. Ocorre em forma de uma lente, interrompida pelas fácies biosiliciclástica e areia cascalhosa biosiliciclástica, a oeste da desembocadura do rio Jaguaribe e profundidade inferiores a 10 m. As formas de fundo submarino, onde ocorre esta fácies, não é visível devido a baixa visibilidade do fundo submarino da zona 1.

---

## CONCLUSÕES



A integração de dados batimétricos, processamento digital de imagens, sonográficos e sedimentológicos (fig. 5.1), mostrou-se apropriada para a caracterização morfológica e sedimentológica da Plataforma Continental Cearense, adjacente aos municípios de Fortim, Aracati e Icapuí.

As ferramentas geofísicas de investigação indireta foram eficientes para a realização de estudos em regiões submersas de difícil acesso, sendo de custo relativamente baixo e acessível. Tais técnicas, principalmente PDI, possibilitaram a inferência da presença e atuação das correntes de deriva litorânea, através do material particulado em suspensão e a delimitação de quatro zonas que apresentam diferentes concentrações do material em suspensão em função da profundidade: zona 1 (0-8 m), zona 2 (8-10m), zona 3(10-14 m) e zona 4 (14-30 m), sendo a zona 1 de maior e a zona 4 de menor concentração.

A partir dos dados batimétricos e sonográficos foram identificados diferentes formas de fundo, tais como: fundos rochosos, banco de sedimentos bioclásticos, paleocanais submersos, leito plano e campo de dunas longitudinais, transversais e obliquas (fig. 4.5).

A tectônica da área atribui características peculiares à Plataforma Continental da área em estudo, exercendo um controle na geração e evolução das morfologias de fundo submarino, na distribuição sedimentológica e na dinâmica costeira local. As feições de fundo submersas identificadas na plataforma continental em estudo ilustram bem a

---

existência desse controle, como por exemplo, a ocorrência das dunas longitudinais que se restringem apenas à adjacências da área de estudo, não ocorrendo na porção central. Provavelmente, devido as modificações na hidrodinâmica em resposta ao alto topográfico identificado pela batimetria, defronte a localidade de Icapuí. Além da incisão do paleocanal submerso, que aparenta ter sido formado por controles de falhas presentes no embasamento e estar sendo preservado ao longo do tempo por estar sendo protegido da ação direta da hidrodinâmica pelo alto topográfico supracitado.

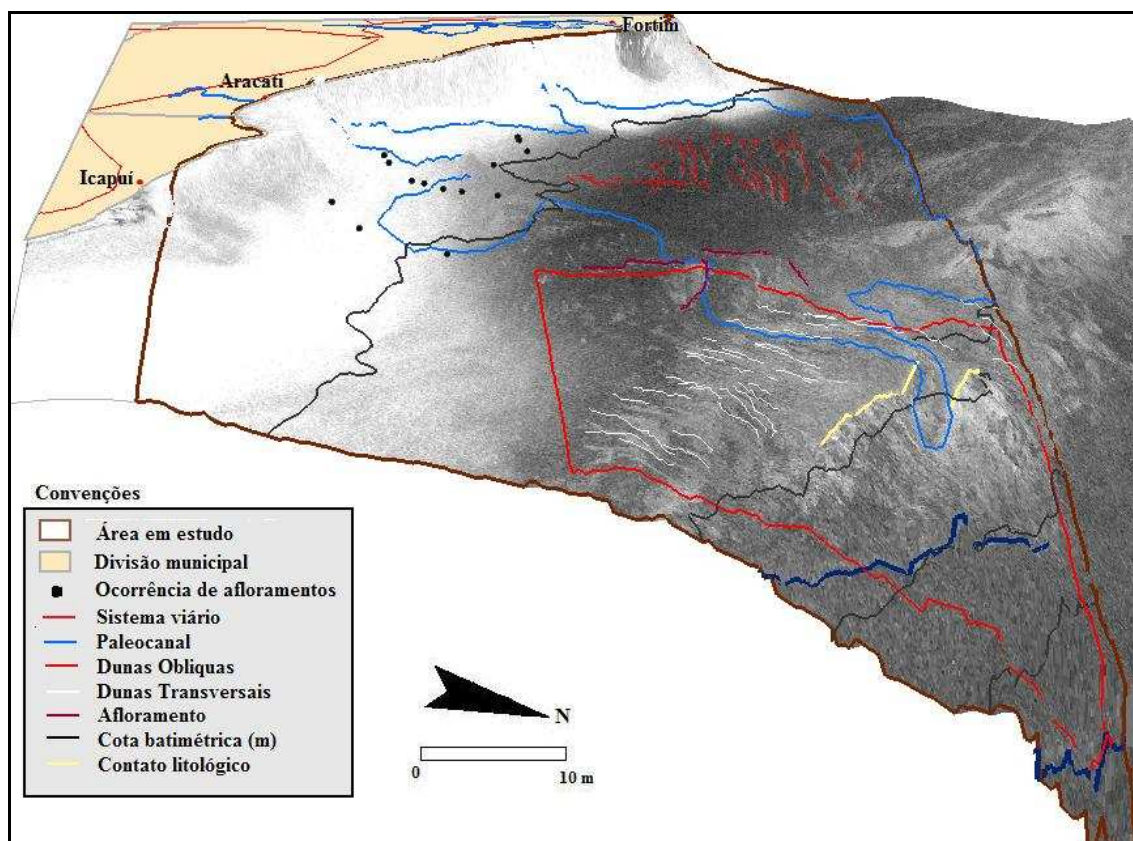
Quanto a distribuição sedimentológica, pode-se confirmar o caráter misto da Plataforma Continental Cearense, em que a concentração de carbonato de cálcio aumenta em direção a porção mais distal à costa. Neste estudo foi possível a identificação de 6 fácies sedimentares, sendo elas: Areia Bioclástica, Areia Siliciclástica, Areia Biosiliciclástica, Areia Cascalhosa Bioclástica, Areia Cascalhosa Biosiliciclástica e Areia Cascalhosa Silicibiclástica. Sendo as duas primeiras fácies as que ocorrem em maior abundância. Observa-se que o relevo submarino exerce notória influência sobre a distribuição sedimentológica da Plataforma Continental Cearense. Os registros sonográficos revelaram a complexidade da distribuição dos sedimentos superficiais e das feições encontradas, demonstrando uma inadequação de mapeamentos sedimentológicos do fundo do marinho realizados somente com amostragens sedimentológicas pontuais.

Os elementos morfosedimentar descritos no presente trabalho poderiam ser correlacionados a um período de nível de mar baixo ocorrido durante o mar glacial, no Neopleistoceno, cerca de 20.000 A.P. Nesse período, segundo Peltier (1998), o nível do mar desceu aproximadamente 107 m abaixo do atual, expondo a plataforma continental até sua borda. Propiciando incisão de vales e canais, deposição de sedimentos provindo do continente, mais litoclásticos, e conseqüente, preenchimento dos canais e formações de dunas que posteriormente foram afogados. Período em que o clima provavelmente

---

era diferente do atual e os rios apresentavam maior competência para o transporte desse material até a borda da plataforma.

Para uma melhor compreensão desta região da plataforma continental brasileira sugerimos a realização de estudos mais detalhados das condições hidrodinâmicas da área em estudo, mofoscopia, mineralogia e geoquímica dos sedimentos para fornecer informações acerca da proveniência do material depositado na plataforma, bem como testemunhagem e sísmostratigrafia para o reconhecimento da estratigrafia de sub-fundo, de modo a se determinar com maior precisão os processos sedimentares e ambientes de deposição responsáveis pela construção desses registros sedimentares descritos. Assim como, possibilitar a determinação de ambientes potencialmente análogos para reservatórios de petróleo.



**Figura 5.1 – Modelo digital do terreno associado a imagem de satélite LANDSAT 5 TM de 2008 composição II ilustrado a integração de todos as feições descritas no presente trabalho. Exagero vertical de 500 vezes.**

---

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

---

### A

---

ALHEIROS M. M.; LIMA FILHO M. F.; MONTEIRO F. A. J. FILHO J. S. O. 1988. Sistemas Depositionais na formação Barreira no Nordeste Oriental. *In: SBG/Núcleo Norte, Cong. Bras. Geol., 35, Belém, Anais, 753-760.*

ALMEIDA, F. F. M. *et al.*, 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. *In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande. Atas. Campina Grande: SBG, p. 363-391.*

ANGELIM, L. A. A.; NESI, J. R.; TORRES, H. H. F.; MEDEIROS, V. C.; SANTOS, C. A.; VEIGA JUNIOR, J. P.; MENDES, V. A., 2007. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte – Escala 1:500.000.* CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Recife, 119 pp.

ARARIPE, P. T & FEIJÓ, F. J. 1994. *Bacia Potiguar.* Boletim de Geociências da Petrobrás. 8-1.

ASHLEY GM. 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *In.: Journal of Sedimentary Petrology, 60(1): 160–172.*

### B

---

BAKKER, P. R de. 1965. *Cartografia: noções básicas.* Diretoria de Hidrologia e Navegação (DHN) - Marinha do Brasil , Rio de Janeiro, 242 p.

BERTANI R. T., COSTA I. G. & MATOS RMD. 1990. Evolução Tectono-sedimentar Estilo Estrutural e Habitat do Petróleo da Bacia Potiguar. *In: RAJA GABAGLIA GP & MILANI EJ (Ed.). Origem e evolução de bacias sedimentares.* PETROBRAS, Rio de Janeiro, p.: 291–301.

BERTANI, R. T., COSTA, I. G. & MATOS, R. M. D. de, 1989, Evolução Tectono-Sedimentar, Estilo Estrutural e "Habitat" do Petróleo na Bacia Potiguar - Brasil: *In: Seminário de Interpretação Exploratória (SINTEX), 1, 1989, Angra dos Reis. Anais, Rio de Janeiro, Petrobrás, Depex, p. 87-96.*

## C

- CALDAS L.H.O.; CORIOLANO, A.C.F.; DANTAS P.E.; JARDIM de SÁ E.F. 1997. Os *Beachrocks* no Litoral do Rio Grande do Norte: potencial como marcadores neotectônicos. *In: SBG/Núcleo Nordeste, Simp. Geol. NE, 17, Fortaleza, Boletim 15, p.369-376.*
- CAMPOS E SILVA A. 1965. O Grupo Barreiras na Região de Natal. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Arq. Inst. Antropol., 1-3.
- CAMPOS E SILVA A. 1966. Considerações sobre o Quartenário no Rio Grande do Norte. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Arq. Inst. Antropol., 2(1/2): 275-301.
- CAMPOS, L. G. 1992. Delineamento do pé do talude na margem continental do Ceará através da integração de dados geológicos e geofísicos. 129f. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, 1992.
- CASTRO, D. L. 1990. Interpretação quantitativa de anomalias gravimétricas ar-livre da margem continental norte brasileira, setor nordeste. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Curso de Pós-Graduação em Geofísica, 109p.
- CAVALCANTI, V. M. M.; FREIRE, G. S. S. 1994. Fácies sedimentares e recursos minerais da plataforma interna do Estado do Ceará. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38, 1994, Balneário de Camburiú. Boletim de Resumos Expandidos, Balneário de Camburiú: SBG, (3):313-315.*
- CAVALCANTI, V. M. M.; FREIRE, G. S. S.; GOMES, D. F. 1993. Depósitos de minerais pesados de interesse econômico na plataforma interna leste do Estado do Ceará. *Revista de Geologia, Fortaleza, (6):75-91.*
- CAVALCANTI, V. M. M.; FREIRE, G. S. S.; SALES, H. B. 1996. Depósitos de algas calcárias da plataforma continental interna do Ceará, região à leste do Fortaleza. *In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador. Anais, Salvador: SBG, 1996. (3):472-474.*
- COSTA I. G. *et al* 1983. Projeto Alagamar – PETROBRÁS/DEPEX, Local, Editora, *Relatório Interno*. Inédito
- COUTINHO, P. N. & MORAIS, J. O. 1968. Distribution de los sedimentos em la plataforma continental norte y nordeste del Brasil. *In: Symposium On Investigation And Resources Of The Caribbean Sea And Adjacent Regions, 1968, Curaçao: UNESCO, p. 313-315.*
- CREMONINI O. A.; GOULART J. P. M.; SOARES U. M. 1996. O Rifte Potiguar: novos dados e implicações tectônicas. *In: SBG/Núcleo Sudeste, Simp. sobre o Cretáceo no Brasil, 4, Rio Claro, Boletim, p.89-93.*
- CYPRIANO J. L. & NUNES A. B. 1968. Geologia da Bacia Potiguar. Natal, PETROBRAS/DIREX/DPNE. (Relatório Final).

---

**D**

---

DANTAS, E. P., 1998. Gravimétrica e Sensoriamento Remoto: Uma aplicação ao estudo da tectônica recente entre Macau e São Bento do Norte (RN). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, 98p.

DIAS G.T.M. & FERRAZ C.B. 2004. SAG – Sistema de Análise Granulométrica. Manual do Usuário. Disponível em: <http://www.igeo.uff.br>. Acesso em 34 Outubro de 1996.

DIAS G.T.M & FIGUEIREDO A. G. Jr. 2004. Aspectos Históricos da Exploração Científica dos Oceanos. In: Baptista Neto, J.A., Ponzi, V.R.A., Sichel, S.E. Introdução à Geologia Marinha. 2004. P01.

DIAS G.T.M. 1996. Classificação de sedimentos marinhos, proposta de representação em cartas sedimentológicas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39; Salvador. *Anais*, Salvador: SBG, 1996, 3: 423–426.

---

**F**

---

FILHO N. O. H. 2008. Citação de referência e documento eletrônico. Disponível em: <http://www.propp.uff.br/pggm/>. Acessado em 2 de junho de 2008.

FLEMMING. B. W. 1976. Side-scan sonar: a practical guide, *International Hydrographic Review* 53 65e91.

FRANÇOLIN, J. B. L. & SZATMARI, P. 1987. Mecanismo de Rifteamento da Porção Oriental da Margem Brasileira. *Rev. Bras. Geoc.* 17(2): 196-207.

FRAZÃO, E. P., 2003. Modelamento hidrodinâmico e caracterização morfo-sedimentar do Estuário Potengi e áreas adjacentes; implicações na migração de derrames de hidrocarboneto. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, 145p.

FREIRE GSS, CAVALCANTI VMM, MAIA LP & LIMA SF. 1997. Classificação dos Sedimentos da Plataforma Continental do Estado do Ceará. In: Simpósio de Geologia do Nordeste; Fortaleza. *Anais*, Fortaleza, 1997, p. 209–211.

FREIRE, G. S. S. & CALVALCANTI, V. M. M., 1998. A Cobertura Sedimentar Quaternária da Plataforma Continental do Estado do Ceará. Fortaleza, 42.

FREIRE, G. S. S. 1985. Geologia marinha da plataforma continental do Ceará. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia, Departamento de Geologia, 132p.

FREIRE, G. S. S.; COUTINHO, P. N.; MORAIS, J. O. 1984. Sedimentos superficiais da plataforma continental do Estado do Ceará. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 11, Natal. *Atas*, Natal: SBG. p. 228-240.

FOLK, R.L. 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphills Publishing, Austin, Texas, 170p.

FOLK, R.L. & Ward, W.C. 1957. Brazos rives bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27:3-27 .

---

## G

---

GOMES, M. P. 2007. Integração de Dados Batimétricos da Plataforma Continental Norte do RN e Altimétrico da Costa Norte do RN com vistas à elaboração de um Modelo Digital do Terreno-MDT de áreas sob atuação da Indústria do Petróleo. Relatório de Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 77 p.

GOMES, M. P.; VITAL, H.; MACEDO, J.W.P. 2007. Modelo Digital do Terreno-MDT de Áreas sob Atuação da Indústria Petrolífera através da Integração de Dados Batimétricos e Altimétricos da Zona Costeira Norte do RN. 4º DPETRO, Campinas, SP.

---

## H

---

Consulta eletrônica disponível em: <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>. Acessado em 17 de agosto de 2008.

Consulta eletrônica disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acessado em 20 de janeiro de 2008

Consulta eletrônica disponível em: <http://www.funceme.br/>. Acessado em 19 de setembro de 2008

---

## J

---

JARDIM DE SÁ, E. F. 1994. A Faixa Seridó (Provincia Borborema, NE do Brasil) e seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan Africana. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 803p.

---

## L

---

LABOREL JL. 1967. A revised list of Brazilian scleractinian corals and description of a new species. *Postilla, Peabody Mus. Nat. Hist. Yale Univ.*, 107: 14 pp.

LARSONNEUR C. 1977. La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche. *J. Rech. Oceanogr.* 2: 34–39.

LIMA. S. F., 2006. Caracterização Geomorfológica e Paleogeográfica da Plataforma Continental Adjacente ao Rio Apodi Mossoró, RN/Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, 74p.

---

## M

---

MABESOONE J. L.; CAMPOS A.; SILVA A. C. E.; BEURLIN K. 1972. Estratigrafia e Origem do Grupo Barreira em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. *Rev. Bras. de Geoc.* 2:173-188.

---

MAIA LP. 1998. Procesos Costeros y Balance Sedimentario a lo Largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una gesti'ón adecuada de la zona litoral. 1998. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 269 pp.

MATOS RMD. 2000. Tectonic Evolution of the Equatorial South Atlantic. *In: MOHRIAK WU & TALWANI M (Eds.). Atlantic Rifts and Continental Margins. Geophysical Monograph*, 115(8): 331–354.

MATOS, R. M. D. 1987. Sistema de Riftes Cretáceos do Nordeste Brasileiro. *In: Seminário de Tectônica da Petrobrás. Rio de Janeiro. Petrobras/Cenpes/Depex*, PP.126-159.

MILLIMAN, J. D; BARRETO, H. T. 1975. Upper Continental Margin Sedimentation off Brazil. Part I: Background. *Contributions to Sedimentology, Stuttgart*, v.4, p.1-10.

---

## N

---

NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. 2004. *Introdução à Geologia Marinha*. LOCAL, Interciência.

---

## O

---

OLIVEIRA, P. R. A. 2007. Morfologia e Sedimentologia do Extremo Leste da Plataforma Continental ao Largo do Estado do Ceará – Área Fortim a Icapuí. Relatório de Graduação, Universidade Federal do Ceará, 85 p.

---

## P

---

PESSOA NETO, O. C. da. 1999. Análise Estratigráfica Integrada da Plataforma Mista (Siliciclástica-Carbonática) Do Neogeno da Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 244p.

PESSOA NETO, O. C. da; SOARES, U.M.; SILVA, J.G.F. da; ROESNER, E.H; FLORENCIO & P. C.; SOUZA, C.A.V.,. 2007. Rio Janeiro , *Boletim de Geociências da Petrobra*, 15: (2)357-369.

PLINT, A.G. 1988. Sharp-based shoreface sequences and “offshore bars” in the Cardium Formation of Alberta: their relationship to relative changes in sea level. *In: Wilgus. C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.G., Posamentier, H.W., Ross, C.A., and Van Wagoner, J.C., (Eds.). Sea Level Changes: An Integrated Approach. SEPM*, 42:357–370. (Special Publication).

PATCHINEELAM, S.M. 2004. Circulações Oceânicas. *In: Baptista Neto, J.A., Ponzi, V.R.A., Sichel, S.E. Introdução à Geologia Marinha*. 2004. p153.

---

## R

---

READING, H.G., 1996, *Sedimentary Environments; Processes, Facies and Stratigraphy*. Third Edition. London, Blackwell Scientific, 688 p.

REINECK, H.-E., AND SINGH, I.B, 1973. *Depositional Sedimentary Environments — with Reference to Terrigenous Clastics*. Springer- Verlag, Berlin, 439 p.

---

**S**

---

- SIGOLO, J. B. 2001. *Decifrando a Terra: Processos Eólicos a Ação dos Ventos*. Oficina de Texto, São Paulo, 285p.
- SILVA, A. O.; ABRAHÃO D.; SANTOS M. B. 1994. Estratigrafia de Sequências do Cenomaniano Superior-Turoniano Inferior da Bacia Potiguar. In: SBG/Núcleo Sul, Cong. Bras. Geol., 38, Balneário de Camburiú, *Anais*, 1: 590-592.
- SILVA, C.G.; PATCHINEELAM, S.M.; BAPTISTA NETO, J. A. & PONZI, V. R. Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfológicos Atuantes na Linha de Costa. In: Baptista Neto, J.A., Ponzi, V.R.A., Sichel, S.E. Introdução à Geologia Marinha. 2004. p175.
- SANTOS, C. L. A.; VITAL, H.; AMARO, V. E. & KIKUCHI, R. K. P de. 2007. Mapeamento de Recifes Submersos na Costa do Rio Grande do Norte, NE Brasil: Macau a Maracarau. *Revista Brasileira de Geofísica*, 25(1).
- SOARES, U. M.; ROSETTI, E. L.; CASSAB, C. T.; 2003. Bacia potiguar. Phoenix. Fundação Paleozóica Phoenix. 56:13.
- SILVA FILHO, W. F.da. 2004. Domínios Morfoestruturais da Plataforma Continental do Estado do Ceará. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 288 pp.
- SOARES, U. M.; ROSETTI, E. L. 2005. Tectonismo e sedimentação na Porção SW do Rifte Potiguar. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, 13:(2)149-166.
- SOUZA D. C. 2002. Litoestratigrafia e Deformação do Cenozóico na Região de Icapuí, Ceará, e Implementação para a Estruturação em Campo de Petróleo na Borda Ocidental da Bacia Potiguar (NE do Brasil). Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 222p.
- SOUZA, S. M. 1982. Atualização da litoestratigrafia da Bacia Potiguar. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador. SBG.' Anais, v.5,P. 2392-2406.
- SHEPARD, F.P. 1954. Depositional mechanism from the size analysis of clastics sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, Tulsa, Okla, 34:73-83.
- SHEPARD, F.P., AND MOORE, D.G. 1955. Central Texas Coast sedimentation: characteristics of sedimentary environment, Recent history, and diagenesis: American Association Petroleum Geologists, *Bulletin*, 39:1463–1593.
- SHEPARD F.P., PHLEGER, F.B., AND VAN ANDEL, T.H., 1960. Recent Sediments, Northwest Gulf of Mexico: Tulsa, Oklahoma, American Association.

---

**T**

---

- TABOSA, W. F., 2002. Monitoramento Costeiro das Praias de São Bento do Norte e Caiçara do Norte - RN. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.
- TABOSA, W. F., 2006. Morfologia e Sedimentologia da Plataforma Continental Brasileira Adjacente a São Bento do Norte e Caiçara do Norte – RN/NE-Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

---

**V**

---

VASCONCELO E. P.; LIMA NETO F. F.; ROSS S. 1990. Unidade de Correlação da Formação Açú. *In: SBG/Núcleo Nordeste. Cong. Bras. Geol., 36, Natal, Anais, 1: 227-240.*

VITAL, H.; SILVEIRA, I. M. & AMARO, V. E., 2005. Carta Sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira – Área Macau (NE Brasil), Utilizando Integração de Dados Geológico e Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geofísica, 23(3): 233-241.*

GOMES, M. P.; VITAL, H.; MARCELO, J. W.; FRAZÃO, E. P. 2008. Incised Valle System: Insights From High-Resolution Seismic Stratigraphy and Geomorphologic Modeling from the Açú River Mouth and Shelf, Potiguar Basin, NE Brazil. *In: 2008 AAPG Annual Convention and Exhibition in San Antonio, Texas, April 20 – 23, 2008. Selecionado para: 2008 AAPG Student Poster Awards Competition, patrocinado pela Shell e pela AAPG Student Chapters Committee. AAPG 2008 Annual Convention and Exhibition, abstracts volume, p.69.*

**W**

---

WRIGHT, L.D., CHAPPELL, J., BRADSHAW, M.P., AND COWELL, P. 1979. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and nearshore systems, southeastern Australia: *Marine Geology, 32:105–140.*