

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**GEOMORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DOS  
DEPÓSITOS SEDIMENTARES RECENTES DA PORÇÃO  
SUPERIOR DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ (BAÍA DE  
MARAJÓ, AMAZÔNIA)**

**SILVIO EDUARDO MATOS MARTINS**

ORIENTADOR – Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa.

Porto Alegre – 2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**GEOMORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DOS  
DEPÓSITOS SEDIMENTARES RECENTES DA PORÇÃO  
SUPERIOR DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ (BAÍA DE  
MARAJÓ, AMAZÔNIA)**

**SILVIO EDUARDO MATOS MARTINS**

ORIENTADOR – Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências.

Prof. Dr. Eduardo Siegle - Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico.

Prof. Dr. Luis Emílio Sá Brito de Almeida - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

Dissertação de Mestrado apresentada  
como requisito parcial para a obtenção  
do Título de Mestre em Geociências.  
Área de concentração em Geologia  
Marinha.

Porto Alegre – 2010

Martins, Silvio Eduardo Matos

Geomorfologia e sedimentologia dos depósitos sedimentares recentes da porção superior do estuário do rio Pará (baía de Marajó, Amazônia). - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2010.

[123 f.] il.

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2010.

Orientação: Prof.Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa

1. Sedimentologia. 2. Geomorfologia. 3. Sedimentos recentes.  
4. baía de Marajó. I. Título.

---

Catálogo na Publicação  
Biblioteca Geociências – UFRGS  
Mirian Alves CRB 10/1947

**À família Martins e minha esposa  
Ana Betânia, por todo apoio e fortaleza.**

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer algumas pessoas e instituições as quais foram fundamentais para a realização desta dissertação:

Ao Pai que continua a me guiar.

À minha família que mesmo nas dificuldades da distância não deixaram de acreditar em meu trabalho.

À minha esposa Ana Betânia, por toda paciência, apoio e dedicação.

Ao meu Orientador Iran Carlos Stalliviere Côrrea, por todas as conversas esclarecedoras.

Ao técnico em geologia Gilberto Santos – GIBA. Por toda paciência e bom humor em laboratório.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi, por disponibilizar seus laboratórios.

Aos pesquisadores e amigos, Amilcar Mendes, Odete Machado, Francisco Berrêdo, Messiana Boulhosa, Aderson Gregório, Murilo Mota, Paulo Tadeu e Wilton Júnior pela colaboração na fase inicial deste trabalho.

Aos pesquisadores e amigos da pós-graduação:

Cláudia Klose Parise

Gabriela Bueno Jung

Rogério P. Manzolli

Heitor Perotto

Suélen C. Costa da Silva

Aderson M. da Silva Gregório

Luana C. Portz

Loren Pinto Martins

Leonardo Gonçalves

Felipe Caron

Pelo acolhimento, companheirismo, conversas e discussões em campos que de alguma forma ajudaram no processo acadêmico e criativo deste trabalho, além de tornarem minha distância de família e antigos amigos um pouco menos sentida.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior por me disponibilizar bolsa.

## **Resumo**

A dissertação visa caracterizar os depósitos sedimentares superficiais da planície arenosa de maré e de fundo/canal da porção superior da baía de Marajó, na área de influencia do Porto de Vila do Conde quanto sua geomorfologia, distribuição sedimentar e assembléia mineralógica de fundo, com ênfase nos minerais pesados. Os sedimentos foram classificados em nove classes texturais. A granulometria variou de argila à matacão. Os principais minerais pesados que ocorrem nos depósitos superficiais são: zircão, estauroлита, turmalina, cianita, granada e rutilo. Secundariamente ocorrem sillimanita, andaluzita, epidoto, apatita, topázio, muscovita, tremolita-actinolita, hornblenda, diopsídio, monazita, augita e biotita. Os grãos de estauroлита, zircão, turmalina e cianita apresentam ampla distribuição em todas as amostras dos sedimentos de fundo e planície. A assembléia mineralógica de pesados indica mais de uma área fonte de sedimentos. As feições geomorfológicas do curso fluvial estudado puderam ser descritas quanto suas formas, profundidades e composições sedimentares. A distribuição sedimentológica apresenta estreita relação com a morfologia e, sobretudo, evidencia as características de alta hidrodinâmica para esta área. Os sedimentos nas planícies de maré arenosas, localmente denominadas de “praias” de uma forma geral, ocorrem pela deposição de material arenoso fino, mal selecionado. Tais áreas, continuamente, recebem sedimento, de origem terciária, devido à proximidade com os afloramentos do grupo Barreiras. A suíte de minerais indica uma proveniência potencial de rochas metassedimentares, metamórficas de alto, médio e baixo grau e ígneas que afloram nas adjacências da área, tais quais de forma primaria a formação Barreiras e pós-Barreiras e secundariamente o complexo cristalino Xingu e o grupo Tocantins.

Palavras-chave: Sedimentologia, Geomorfologia, Mineralogia, sedimentos recentes, baía de Marajó.

## **Abstract**

The dissertation aims to characterize the bottom sediments deposits of the tidal sandy plain and bottom/channel of the upper portion Marajó Bay, in area of the port of Vila do Conde about your geomorphology, sediment distribution and mineralogical assembly background, with emphasis on heavy minerals. The sediments were classified into nine textural classes. The particle size ranged from clay to boulder. The main heavy minerals that occur in the superficial deposits are zircon, staurolite, tourmaline, kyanite, garnet and rutile. Secondly occur sillimanite, andalusite, epidote, apatite, topaz, muscovite, tremolite-actinolite, hornblende, diopside, monazite, augite and biotite. The grains of staurolite, zircon, tourmaline and kyanite are widely distributed in all samples of bottom and tidal plain sediments. The heavy mineral assemblage indicates more than one source area of sediments. The geomorphological features of the studied river course could be described as their shapes, depths and sedimentary compositions. Features of sedimentological distribution are closely related to the morphology and, especially, highlights high hydrodynamics for this area. The sediments in sandy tidal flats, locally called "beaches" in general, occur by the deposition of fine sandy material, poorly selected. Such areas continuously receive sediment of Tertiary origin, due to the proximity of the outcrops of the Barriers group. The mineral suite indicates a potential provenance, metasedimentary rocks, metamorphic high, medium and low grade and igneous rocks that outcrop in the vicinity of the area, in a primary form the Barriers formation and post-Barriers and, then the Xingu crystalline complex and Tocantins group.

**Keywords:** Sedimentology, Geomorphology, Mineralogy, recent sediments, Marajó Bay.



## **Lista de Figuras**

### **Capítulo I**

Figura 01: Localização da área de estudo. Baseada em Imagem Spot 5 composição colorida (2R3G1B) com realce linear

Figura 02 : Bacia Tocantins-Araguaia

Figura 03: Rosa dos ventos. Vento dominante.

Figura 04: Ilustração esquemática dos fatores e processos que determinam a composição dos arenitos e das assembléias de minerais pesados durante o ciclo sedimentar.

Figura 05: Sombra de minerais pesados sob escoamento linear em superfície de fundo plano.

Figuras 06: Ilustração mostrando a formação da estratificação interna com migração de formas de fundo por episódios de deposição no topo da estrutura, seguido de fluxo de grãos (A, gradação inversa), queda periódica de grãos em suspensão (B; Gradação normal) e deposição de sedimento enriquecido em minerais pesados (C).

Figura 07: Mapa batimétrico do rio Pará, na área de influência do Porto de Vila do Conde.

Figura 08: Imagem Spot composição colorida (2R3G1B) com realce linear

Figura 09: Malha de amostragem de sedimentos de fundo

Figura 10 – Detalhe do setor do rio Pará em frente ao píer do Porto de Vila do Conde, mostrando a localização dos pontos de coleta projetados e os pontos de coleta em campo.

Figura 11 – (A) Amostrador de fundo tipo Petersen; (B) Guincho elétrico utilizado para lançar o amostrador

Figura 12 – Abertura do amostrador em basqueta de acrílico; (B) Subamostragem para análises sedimentológicas e mineralógicas.

Figura 13: Amostra sedimentológica acondicionada e identificada

Figura 14: Peneirador vibratório e jogo de peneiras utilizadas para a separação por vibração mecânica, das classes granulométricas dos sedimentos arenosos.

Figura 15: Esquema de separação de minerais pesados por líquido denso.

Figura 16: Separador eletromagnético IsoFrantz.

Figura 17: Amostras subdivididas.

### **Capítulo II**

Figura 01: Localização da área de estudo. Baseada em Imagem Spot 5

Figura 02: Malha de amostragem dos sedimentos de fundo.

Figura 03: (A) Amostrador de fundo tipo Petersen; (B) Guincho elétrico utilizado para lançar o amostrador

Figura 04: Fluxograma das atividades executadas no desenvolvimento das atividades de laboratório.

Figura 05: Bloco diagrama de morfologia de fundo. (a: enseada da Espera; b: ponta do Miritizal; c: Praia Guajará de Itupanema; d: Porto de Vila do Conde; e: Praia do Conde; f: Igarapé Curupuré, Ymeris Rio Caulim S/A e Pará Pigmentos; g: Praia de Beja; h: ponta do Arienga; i: rio Arienga; I – VI: Perfis Morfológicos)

Figura 06: Perfis Batimétricos; Perfil I: depressão da Espera; Perfil II: ponta do Miritizal; Perfil III: canal 1; Perfil IV: canal 2; Perfil V: canal 3 e Perfil VI: ponta do Arienga.

Figura 07: Mapa de distribuição de sedimentos de fundo na área estudada, segundo a Classificação de Folk (1954).

Figura 08: Seixos e matacões lateríticos recobertos por tubos de poliquetas amostrados em áreas de canal.

Figura 09: Concreção laterítica coletada em amostra de canal.

Figura 10: Dados geoestatísticos.

Figura 11: Histogramas de distribuição granulométrica para amostras de fundo e planície. Na coluna da esquerda, amostras de Fundo/canal (PA -006: Extremo norte, PA -068: depressão da Espera, PA -138: canal de porto de Vila do Conde, PA -185: canal de Terminais Pará Pigmentos e Ymeris S/A); Na coluna direita amostras de planície (PA -099: Praia de Itupanema, PA -166: Praia do Conde, PA -208: Praia de Beja, PA -248: Barra arenosa do Arienga)

Figura 12: (A) Vista geral do barranco da formação Barreiras; (B) Ação erosiva nos barrancos da margem do rio Pará

### **Capítulo III**

Figura 01: Localização da área de estudo. Baseada em Imagem Spot 5

Figura 02: Principais unidades morfológicas e malha de amostras utilizadas nas análises de minerais pesados. (a: enseada da Espera; b: ponta do Miritizal; c: Praia Guajará de Itupanema; d: Porto de Vila do Conde; e: Praia do Conde; f: Igarapé Curupuré, Ymeris

rio Caulim S/A e Pará Pigmentos; g: Praia de Beja; h: ponta do Arienga; i: rio Arienga; I: depressão da Espera; II: canal; III: Barra arenosa do Arienga; X: Amostras)

Figura 03: (A) Amostrador de fundo tipo Petersen; (B) Guincho elétrico utilizado para lançar o amostrador

Figura 04: Esquema de separação de minerais pesados por líquido denso

Figura 05: Prancha de minerais

Figura 06: Percentuais de minerais pesados Figura 07: Mapa de distribuição de sedimentos de fundo na área estudada, segundo a Classificação de Folk (1954).

Figura 07: Distribuição espacial de zircões.

Figura 08: Distribuição espacial de turmalinas.

Figura 09: Distribuição espacial de estaurolitas.

Figura 10: Distribuição espacial de cianitas.

Figura 11: Distribuição espacial de rutilos.

Figura 12: Distribuição espacial de granadas.

## **Lista de Tabelas**

### **Capítulo I**

Tabela 01: Dados gerais das principais bacias fluviais brasileiras

Tabela 02: Medições de correntes superficiais de marés enchente e vazante na área de estudo

Tabela 03: Ordem de estabilidade dos minerais pesados

Tabela 04 – Limites dimensionais e designações da classificação textural

### **Capítulo II**

Tabela 01: Correlação das unidades morfológicas de fundo e o sedimento que as compõe.

### **Capítulo III**

Tabela 01: Distribuição percentual dos principais minerais pesados superficiais de fundo da baía de Marajó

Tabela 02: Distribuição percentual dos principais minerais pesados superficiais da planície arenosa de maré

Tabela 03: Correlação das unidades morfológicas de fundo e o sedimento que as compõem

## SUMÁRIO

Resumo .....	6
Abstract.....	7
Lista de Figuras.....	8
Lista de Tabelas .....	11
Estrutura da Dissertação .....	14

### CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO .....	15
1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	18
2 OBJETIVOS .....	20
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	21
3.1 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA ESTUDADA .....	21
3.1.1 Hidrologia - As Bacias dos rios Tocantins e Araguaia .....	21
3.1.2 Geologia e Geomorfologia da Amazônia. ....	24
3.1.3 Geologia e Geomorfologia da bacia do Rio Tocantins.....	25
3.1.4 Geologia do Nordeste Paraense (Baía de Marajó e Rio Pará) .....	25
3.2 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS .....	29
3.2.1 Marés .....	29
3.2.2 Correntes.....	30
3.3 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS .....	30
3.3.1 Clima.....	30
3.3.2 Ventos .....	31
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	32
5 METODOLOGIA .....	44
5.1 PRÉ-CAMPO.....	44
5.2 CAMPO .....	47
5.3 LABORATÓRIO.....	50
5.4 GABINETE .....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56

### CAPÍTULO II

GEOMORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DE DEPÓSITOS RECENTES DA PORÇÃO SUPERIOR DA BAIÁ DE MARAJÓ, ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PORTO DE VILA DO CONDE, BARCARENA – PA. ....	61
Resumo .....	62
Abstract.....	63
INTRODUÇÃO .....	64
ÁREA DE ESTUDO .....	64
METODOLOGIA .....	66
APRESENTAÇÃO DE DADOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	69
GEOMORFOLOGIA DE FUNDO: .....	69
SEDIMENTOLOGIA E MINERALOGIA .....	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	81

### CAPÍTULO III

COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE MINERAIS PESADOS DE DEPÓSITOS ...	84
SEDIMENTARES RECENTES DA PORÇÃO SUPERIOR DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ (BAÍA DE MARAJÓ, AMAZÔNIA).....	84

Resumo .....	84
Abstract .....	85
INTRODUÇÃO .....	86
Geologia e Geomorfologia da Amazônia .....	88
METODOLOGIA .....	91
Análise de Minerais Pesados .....	92
RESULTADOS E DISCUSSÃO: .....	94
Mineralogia .....	94
DESCRIÇÃO MINERALÓGICA .....	98
Zircão .....	98
Estaurolita .....	98
Turmalina .....	99
Cianita .....	99
Rutilo .....	100
Silimanita .....	100
Anfibólio .....	100
Granada .....	100
Epidoto .....	100
Distribuição espacial dos principais grupos de minerais pesados .....	101
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	108
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	109
<u>CAPÍTULO IV</u>	
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	112
GEOMORFOLOGIA COSTEIRA .....	112
SEDIMENTOLOGIA .....	113
Mineralogia .....	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	119
ANEXOS .....	120
Anexo A .....	121
Anexo B .....	122

## **Estrutura da Dissertação**

A presente dissertação está organizada em quatro capítulos assim distribuídos.

O primeiro capítulo é a Introdução. Neste são apresentados o tema de pesquisa, seus objetivos, a revisão bibliográfica, a fundamentação teórica e finalizando com as metodologias adotadas.

O segundo capítulo é composto pelo artigo intitulado *Geomorfologia e sedimentologia de depósitos recentes da porção superior da baía de Marajó, área de influência do porto de Vila do Conde, Barcarena – PA*, submetido à Revista Geociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” em janeiro de 2010. Este capítulo trata dos resultados obtidos quanto às pesquisas geomorfológicas e sedimentológicas no que diz respeito à caracterização do ambiente costeiro estudado.

O terceiro capítulo apresenta o artigo intitulado *Composição e distribuição de minerais pesados de depósitos sedimentares recentes da porção superior do estuário do rio Pará (baía de Marajó, Amazônia)*, submetido à Revista Brasileira de Geociências da Sociedade Brasileira de Geologia em janeiro de 2010. Este capítulo trata da composição, distribuição e sua relação com a morfologia de fundo, assim como possíveis áreas-fonte dos sedimentos presentes na porção estudada.

O quarto capítulo é intitulado Considerações finais. Este apresenta a síntese dos resultados que serviram de base para as conclusões dos artigos, assim como as referências bibliográficas utilizadas neste capítulo final.

O anexo A apresenta a carta de recebimento do artigo que compõem o segundo capítulo e que foi submetido à Revista Geociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

O Anexo B apresenta a carta de recebimento do artigo que compõem o terceiro capítulo e que foi submetido à Revista Brasileira de Geociências da Sociedade Brasileira de Geologia.



## **Capítulo I**



## 1 INTRODUÇÃO

Entende-se como rio Pará, um conjunto hidrográfico, formado por inúmeros rios cujas águas nele desembocam, dando origem a uma sucessão de baías e enseadas que se estendem ao longo de toda costa sul da ilha de Marajó e o continente, iniciando a baía de Marajó. O rio Pará, possui mais de 300 km de extensão e cerca de 20 km de largura média. (LIMA;TOURINHO; COSTA, 2001)

O Terminal de Vila do Conde se encontra no local denominado ponta Grossa, às margens direita do rio Pará, Município de Barcarena. O porto foi inaugurado na década de 80 para dar suporte a movimentação e o escoamento de bauxita e alumínio, respectivamente, no complexo Albras-Alunorte. A zona portuária foi contemplada com 382 ha e a porção posterior foi destinada à área do complexo anteriormente citado e da subestação da ELETRONORTE. Atualmente, as cargas predominantes no Porto de Vila do Conde são: alumina, lingotes de alumínio, bauxita, coque, óleo combustível, madeira e piche. (COSTA, 2008)

Nesse contexto ocorre intenso fluxo de navios e balsas na baía do Marajó e no rio Pará, configurando um caráter de alto risco em caso de eventual acidente, envolvendo derramamento de óleo e outros produtos químicos já citados. Um exemplo disso é o acidente que ocasionou o afundamento da balsa Miss Rondônia próximo ao Terminal de Vila do Conde, no dia 4 de fevereiro de 2000, que transportava cerca de 1,8 milhões de litros de óleo combustível no rio Pará. Parte do óleo BPF (óleo com baixo ponto de fusão usado em caldeiras) vazou durante tentativa de resgate desta embarcação, sendo que a maior parte do derrame foi recuperado, com o mínimo de danos ao meio ambiente, graças à ação dos planos de resgate da balsa e de contenção da porção do óleo que vazou.

Segundo Berrêdo et.al. (2001) o óleo encontrado nos sedimentos não pôde ser relacionado com precisão ao óleo derramado, em virtude da absoluta falta de dados referentes à sedimentologia de fundo da área de abrangência do porto e, sobretudo, do teor verificado nas amostras estar abaixo daqueles considerados como referência internacional. Contudo, estes autores recomendaram a caracterização sedimentológica de fundo e o monitoramento constante dos compostos, devido tratar-se de uma área de intensa atividade portuária e industrial.

O entendimento da natureza e distribuição dos sedimentos de fundo em corpos hídricos tem importante papel em diversas áreas, seja para o planejamento de canais de

acesso aos terminais portuários, marinas, dragagens e áreas de despejo, seja para entender o substrato e a biota existente nesta região (BOULHOSA, 2007).

A análise do tamanho das partículas dos sedimentos pode indicar o comportamento do agente deposicional relacionado aos respectivos níveis de energia, tornando-se essencial para o entendimento do ambiente, além de fornecerem importantes informações acerca da micro e macro fauna bentônica. (BOULHOSA, op. cit.)

O balanço climatológico positivo (altos índices de precipitação pluviométrica) na região é o maior responsável pelo *run off* de sedimentos para os rios. Entretanto, também ocorre o retorno dos sedimentos vindos da embocadura da baía de Marajó e que são trazidos pelas correntes e marés. A intensa sedimentação, em áreas de remanso, pode formar bancos, o que torna irregular a batimetria do fundo da baía. Estes bancos aparecem em função das correntes e das marés e sua formação acontece por deposição daqueles particulados originários dos rios da bacia contribuinte à baía. (PLANAVE, 2005)

Os sedimentos que ocorrem no fundo do rio Pará são transportados através dos rios Tocantins, Anapu, seus afluentes, outros rios e pelo próprio rio Pará e são compostos basicamente por silte, argila e matéria orgânica oriunda da decomposição vegetal, o que é um fenômeno bastante conhecido na região. (PLANAVE, *op cit*).

Através do Projeto “Potenciais impactos ambientais provenientes do transporte de petróleo e derivados na zona costeira amazônica - PIATAM-mar II”, a Petrobras tentou entender como um todo o ambiente costeiro amazônico, investindo no desenvolvimento de ferramentas e processos tecnológicos para subsidiar o monitoramento e a gestão ambiental. A caracterização da distribuição sedimentológica de fundo, gerada neste trabalho é de fundamental importância, pois tais resultados forneceram subsídios para a interpretação e modelagem hidrodinâmica, para a determinação dos pontos de coleta para os levantamentos geoquímicos e bióticos, bem como para a definição de áreas mais propícias ao acúmulo de poluentes químicos nos sedimentos de fundo.

Segundo Martins (2007 a, b, c), estudos deste cunho são pouco realizados na região estudada. A relevância da análise está na apresentação das atuais características sedimentares da área submersa do porto de Vila do Conde e futuras comparações com suas eventuais modificações, mudanças estas relacionadas a variantes naturais e/ou de cunho antropogênico, visto as recorrentes atividades industriais e portuárias na área.

Segundo Martins (2007) Os minerais pesados têm sido tradicionalmente utilizados em estudos sedimentológicos, estratigráficos e econômicos. No campo da sedimentologia, esses minerais envolvem principalmente estudos relacionados à proveniência (área-fonte) e dispersão dos sedimentos.

A presente proposta visa caracterizar os depósitos sedimentares superficiais da planície arenosa de maré e de fundo da porção superior da baía de Marajó, na área de influência do Porto de Vila do Conde. Sendo levados em consideração a geomorfologia costeira, distribuição sedimentar, classificação textural e a assembléia mineralógica de fundo, com ênfase nos minerais pesados.

Os estudos de distribuição e proveniência do material sedimentar detrítico, constituem uma importante ferramenta para a análise e interpretação da evolução geológica das bacias sedimentares. Estudos desta natureza permitem caracterizar os sedimentos e obter informações importantes sobre as áreas-fonte destes materiais, além de resolver problemas de proveniência e correlação estratigráfica. A análise dos minerais pesados permite uma abordagem precisa para determinar a proveniência sedimentar. Um grande número de minerais pesados detríticos é encontrado em arenitos, Mange e Maurer (1992) descrevem cerca de 50 espécies.

Segundo Martins (2007) O valor da técnica reside, não só no número de minerais, mas também no fato de que muitos constituem paragêneses restritas que positivamente identificam uma área-fonte particular.

Estudos envolvendo minerais pesados em bacias sedimentares são pouco frequentes no Brasil (Remus et al, 2004; Nascimento e Góes, 2005; Martins, 2007)

A composição dos sedimentos não é precisamente a mesma da área-fonte visto que durante o ciclo geológico estes sedimentos podem ser modificados, de modo que sua composição possa ser alterada por perdas e pelo enriquecimento seletivo (esta questão envolve a estabilidade relativa do mineral no intemperismo da área-fonte), pela abrasão durante o transporte, pelo fracionamento hidráulico e pela alteração ou pela dissolução durante o processo de diagênese. O estudo de proveniência envolve então a análise mineralógica acoplada com o conhecimento da estabilidade mineral, mecânica e química (Pettijohn et al., 1987)

Ainda segundo Martins (2007) as áreas-fonte podem ser múltiplas e podem mudar com o tempo. Muitas fontes e vários ciclos sedimentares podem estar envolvidos nos processos geradores de sedimentos. Isto dificulta a identificação e a distribuição das fontes primárias e imediatas, em geral, rochas ígneas e metamórficas. Embora um único

grão possa conter informações essenciais para identificação de sua fonte, a proveniência de minerais detríticos deve ser buscada a partir da integração de diversos dados, incluindo a análise de assembléias de minerais pesados.

### 1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O setor do rio Pará, entre a região de Belém e a costa sul-sudeste da ilha de Marajó, consiste em um estuário que se inicia na baía das Bocas (delta de Boiçu/Breves), prossegue pelo chamado rio Pará, áreas em que recebe toda a massa de águas do rio Tocantins e inclui uma pequena baía em frente à Belém, na altura do emboque dos rios Guamá/Mojú/Acará/Capim, passando à alongada boca do complexo estuarino terminal, sob o nome de baía de Marajó. (AB'SABER, 2006).

O município de Barcarena pertence à mesoregião metropolitana de Belém e à microrregião de Belém. É limitado ao norte pela baía de Guajará e município de Belém; ao sul pelos municípios de Moju e Abaetetuba; a leste pela baía de Guajará e município de Acará e a oeste, pela baía de Marajó.

A área abrangida pelo estudo está situada entre os paralelos 1°17'S e 1°40'S e os meridianos 48°49'W e 48°33'W (Figura 01).

O principal acidente hidrográfico de Barcarena é a baía de Marajó que, em sua maior abertura para nordeste, compõe, com outras contribuições hídricas, o “Golfão Marajoara”. Além desses dois elementos, alguns furos separam a porção continental da porção insular do município, entre os quais o Furo do Arrozal e o rio Itaporanga.

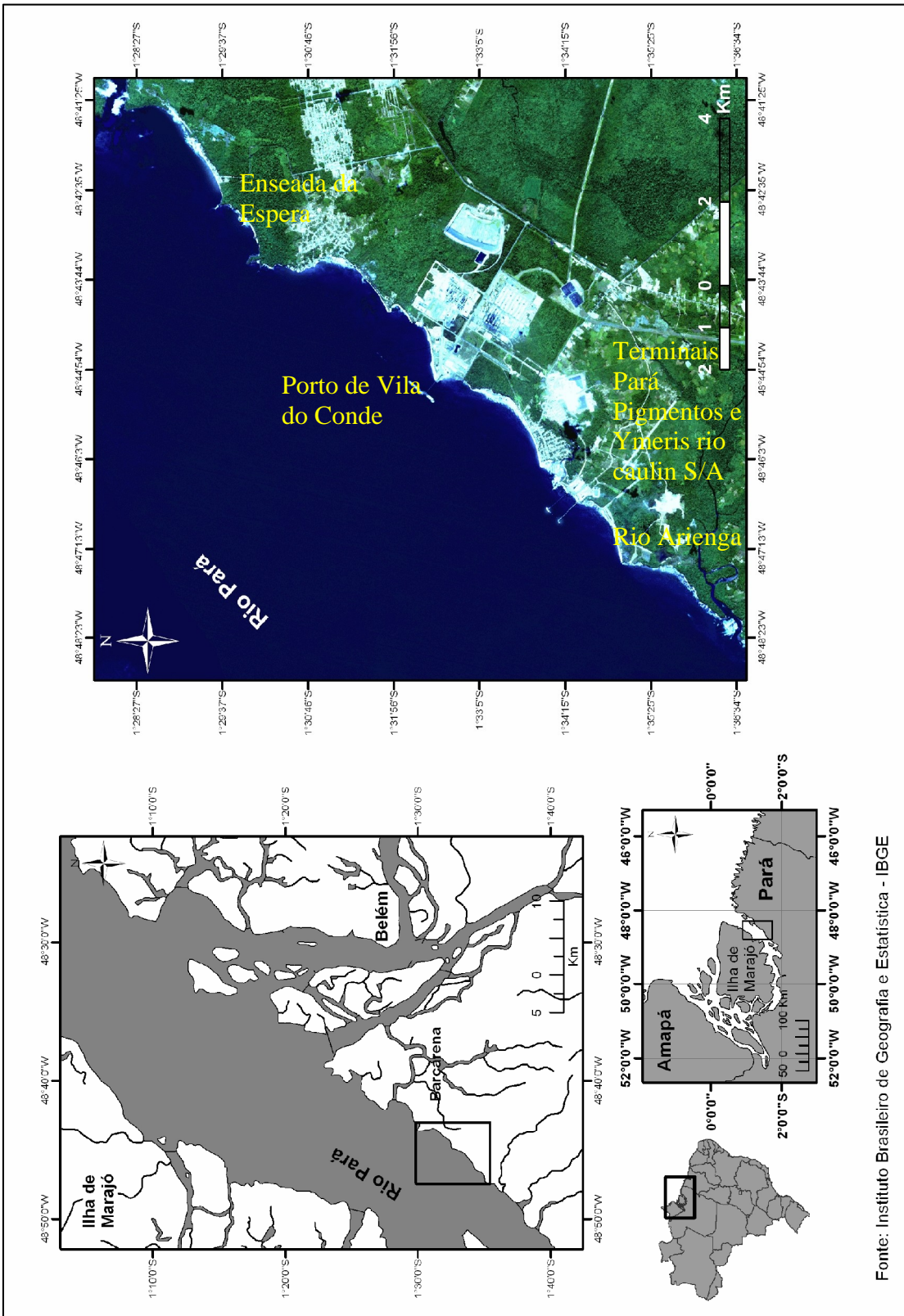


Figura 01: Localização da área de estudo. Baseada em Imagem Spot 5 composição colorida (2R3G1B) com realce linear

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Caracterizar o fundo e a planície arenosa de maré da porção superior da baía de Marajó quanto a sua geomorfologia, sedimentologia e mineralogia da fração pesada.

#### **2.1.1 Específicos**

- Caracterizar as principais formas costeiras.
- Mapear a distribuição de sedimentos de fundo via classificação de *Folk* (1954)
- Analisar os parâmetros estatísticos granulométricos.
- Caracterizar a assembléia mineralógica de minerais pesados presentes na planície costeira.
- Caracterizar a assembléia mineralógica de minerais pesados presentes no fundo da Baía de Marajó.
- Indicar proveniência dos sedimentos

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA ESTUDADA

##### 3.1.1 Hidrologia - As Bacias dos rios Tocantins e Araguaia

Segundo Latrubesse & Stevaux (2002), a bacia dos rios Tocantins-Araguaia é praticamente ignorada na literatura internacional sobre grandes rios. Com área de 757.000 km<sup>2</sup> e descarga média anual de 12.000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. tabela 01, o sistema dos rios Tocantins-Araguaia situa-se como a décima primeira drenagem do mundo em vazão.

Tabela 01: Dados gerais das principais bacias fluviais brasileiras (Fonte: Latrubesse & Stevaux (2002))  
Notas: AM – Bacia do Amazonas; PR – Bacia do Paraná; T/A – Bacia do Tocantins-Araguaia; SF – Bacia do São Francisco; e UG – Bacia do Uruguai.

Rio/Bacia	Drenagem total(km <sup>2</sup> )	Drenagem no Brasil (km <sup>2</sup> )	Descarga média Anual (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Carga sedimentar (x10 <sup>6</sup> .ton.a <sup>-1</sup> )
Amazonas (AM)	6.000.000.000	3.900.000	209.000	1.200
Paraná (PR)	2.600.000	877.000	18.000	158
Paraguai (PR)	1.095.000	336.000	3.734	63
<b>Tocantins (T/A)</b>	<b>757.000</b>	<b>757.000</b>	<b>12.000</b>	<b>18</b>
São Francisco (SF)	634.000	634.000	3.8000	6
Uruguai (UG)	385.000	178.000	3.600	8

Grande parte situa-se na região Centro- Oeste, desde as nascentes dos rios Araguaia e Tocantins até a sua confluência, e daí, para jusante, adentra na Região Norte até a sua foz. A Figura 02 apresenta uma caracterização geral da Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia.

O rio Tocantins nasce no Planalto de Goiás, a cerca de 1000 m de altitude, sendo formado pelos rios das Almas e Maranhão, e com extensão total aproximada de 1.960 km até a sua foz no Oceano Atlântico. As nascentes de localizam em geologia composta de rochas pré-cambrianas do Escudo Brasileiro, rochas do Paleozóico e Mesozóico da Bacia sedimentar do Paraná, seqüências terrígenas do Terciário extensivos depósitos do

Quaternário. Os rios dessa bacia têm planície aluviais pouco desenvolvidas e correm, em seu maior trecho, sobre um embasamento composto de rochas pré-cambrianas fortemente estruturadas. Possui como afluente o rio Araguaia (2.600 km de extensão), onde se encontra a Ilha do Bananal, maior ilha fluvial do mundo (350 km de comprimento e 80 km de largura). Na margem direita do Tocantins destacam-se os rios Bagagem, Tocantinzinho, Paranã, dos Sonos, Manoel Alves Grande e Farinha; na margem esquerda, o rio Santa Teresa e Itacaúnas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

A bacia do rio Tocantins apresenta a maior parte de sua área coberta pelo cerrado, principalmente nos estados de Goiás e Tocantins e seus divisores estão fora da Amazônia legal. Suas cabeceiras já foram muito alteradas, e os impactos hidrológicos associados ao uso e cobertura do solo, já são evidentes. Estudos relacionando o crescimento demográfico e a expansão do desmatamento na bacia, indicaram alterações hidrológicas, isto é, aumento do pico de vazão no período chuvoso e redução no período de seca, caracterizando uma maior amplitude (COSTA et al, 2003).

Mais próximo da área estudada, o principal acidente hidrográfico de Barcarena é a baía de Marajó que, em sua maior abertura para nordeste, compõe, com outras contribuições hídricas, o “Golfão Marajoara”. Além desses dois elementos alguns furos separam a porção continental da porção insular do Município, entre os quais o Furo do Arrozal, que separa a Ilha de Carnapijó e recebe o rio Barcarena, e o rio Itaporanga, nasce ao sul do município. Outro rio de expressão na área é o Moju, cuja foz limita com o município de Acará. A sudoeste o rio Arienga limita com Abaetetuba e, a sudeste, o limite com Moju é feito através do Igarapé Cabresto (SEPOF, 2005).



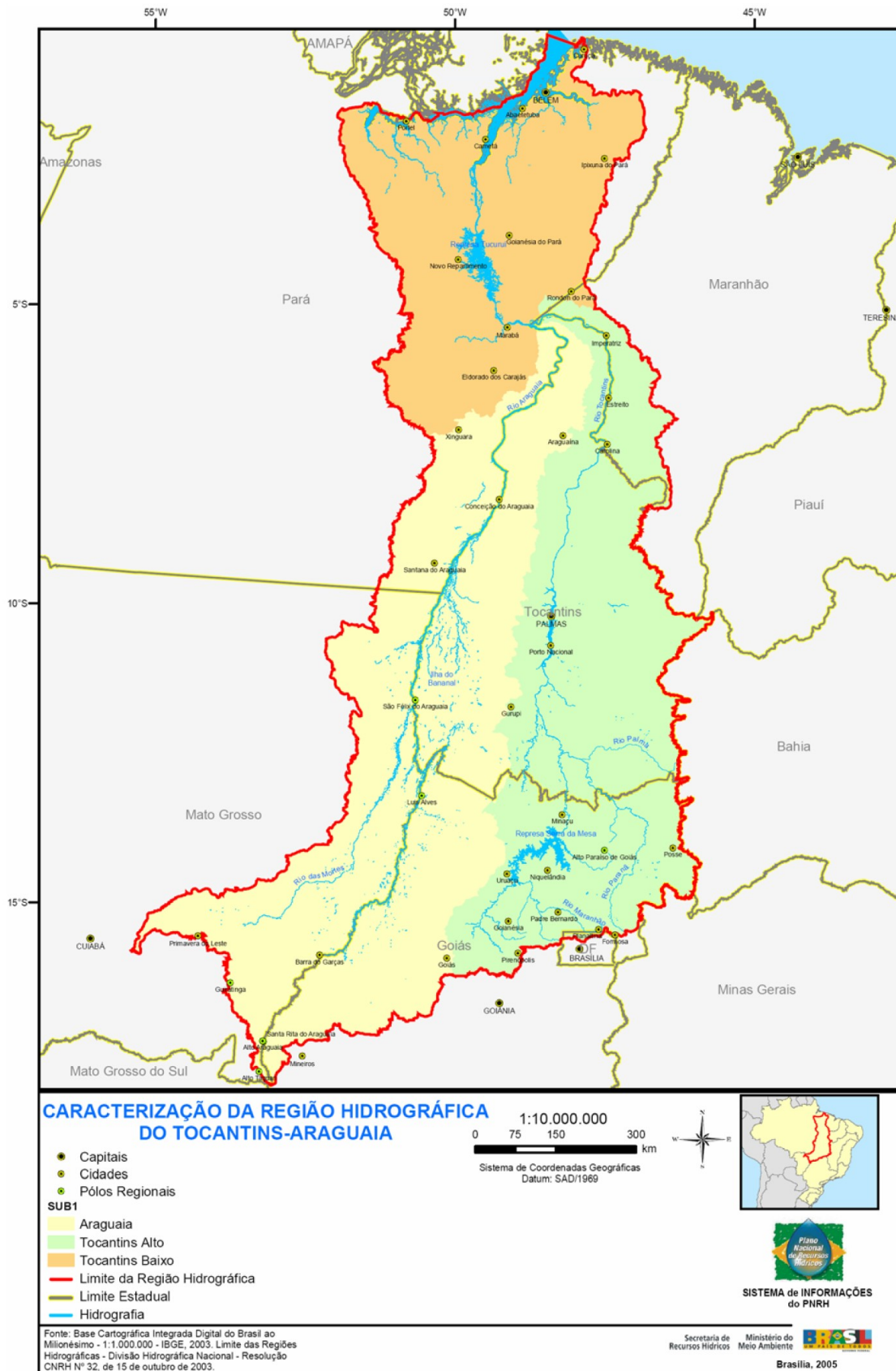


Figura 02 : Bacia Tocantins-Araguaia.

Fonte: Modificado de MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006

### 3.1.2 Geologia e Geomorfologia da Amazônia.

A região amazônica constitui o único conjunto de terras baixas brasileiras de escala realmente subcontinental. Trata-se de um anfiteatro de planícies aluviais e colinas tabuliformes apenas passível de ser visualizado quando cartografado na escala de mapas. (AB'SABER, 2004)

A grande planície e os extensos baixos platôs da Amazônia brasileira perfazem uma área superior a dois milhões de quilômetros quadrados, ficando envolvidas pela concavidade interior das terras andinas e sub-andinas, pelo Planalto das Guianas e pelo Planalto Brasileiro.

Segundo Ab'saber (2004) O núcleo sedimentar do grande anfiteatro regional de baixos, equivale a uma bacia sedimentar paleozóica que somente muito mais tarde foi retomada pela sedimentação, tendo sido, em grande parte, tamponada e até mesmo ultrapassada em área pelas camadas continentais neogênicas (série Barreiras). Na realidade está série detrítica, que é a de maior amplitude existente na província sedimentar amazônica, não deixa dúvidas quanto ao seu papel paleogeográfico: ela efetuou uma colmatagem tardia da velha depressão sedimentar regional, desde o setor centro-ocidental e sub-andino até o setor oriental e atlântico.

Somente associação entre os rebaixamentos denudacionais neogênicos e a subsidência moderada dos fins do Terciário, a par com fases de erosão nas áreas de escudo expostos e alterados, é que pode explicar a gênese do domínio amazônico da Formação Barreiras. Segundo Ab'Sáber (2004), tudo indica que a maior parte dos sedimentos neogênicos regionais tenha sido oriunda do arrasamento de regolitos dos escudos Brasileiro e Guianense. Entendemos, dessa forma, que a massa geral de tais depósitos dependeu de paleoregolitos (por argilificação caulínica das áreas cristalinas e cristalofilianas expostas), enquanto o teatro deposicional dependeu do retorno ao caráter de bacia, que afetou tardiamente a velha sinclinal paleozóica regional. Evidentemente tratou-se de uma reativação da subsidência, à custa de uma tectônica de fraturas e falhas, a qual tendo-se iniciado em regime de fossas no Mioceno prosseguiu durante o Plioceno sob a forma de uma ampla subsidência regional, por reativação atenuada da tectônica quebrável. Mesmo após a deposição da formação Barreiras, e após a ligeira consolidação de seus sedimentos, houve reativações tardias da tectônica residual.

### **3.1.3 Geologia e Geomorfologia da bacia do rio Tocantins.**

O Baixo Tocantins, na área de influência do reservatório de Tucuruí é caracterizado por dois grandes domínios geológicos: embasamento cristalino, constituído por rochas ígneas e meta-sedimentos e cobertura sedimentar, constituída por sedimentos que se depositaram durante os períodos mesozóico e cenozóico (terciário e quaternário). Pode-se notar o contato entre as rochas cristalinas do Complexo Xingu (margem esquerda) e rochas metamórficas de baixo grau, do Grupo Tocantins (margem esquerda, leito do rio e margem direita). As três unidades de relevo do baixo Tocantins: Planalto Setentrional Pará-Maranhão, Planalto Rebaixado do Amazonas e depressão Periférica do Sul do Pará, podem ser observadas na área de influencia dos grandes reservatórios do rio Tocantins. Sua origem está relacionada a atuação de processos erosivos, iniciados no fim do período terciário. Apresenta várias formas de relevo na região, destacando-se áreas com superfície pediplanadas, áreas dissecadas em colinas de topo aplainado e planícies fluviais. (COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS, 1999)

Da região de Belém até a faixa de contato entre os terrenos do terciário e os do Cretáceo, do norte para o sul, estende-se uma rampa ascendente, incluindo tão-somente alguns níveis de aplainações embutidas, terraços fluviais e alongadas, e muito mais largas, calhas aluviais meandricas de baixos vales de rios tributários do Golfão Marajoara. As drenagens dos rios Caju, Moju e Acará agem conseqüentemente na rampa geral sul-norte dos tabuleiros situados entre o encaixado rio Tocantins e o baixo platô da Região Bragantina.

Os rios principais da região tem um traçado geral subparalelo, enquanto seus afluentes tendem para um traçado ortogonal (adaptado ao sistema diaclases da bacia amazônica) e as nervuras dos minúsculos cursos de primeira ordem de grandeza apresenta-se sob modelos dentriticos bacinais. A drenagem do rio Capim-Guamá, que desemboca no fundo do estuário do rio Pará, possui traçado altamente anômalo, quando comparado com os cursos vizinhos de Oeste.

### **3.1.4 Geologia do Nordeste Paraense (baía de Marajó e rio Pará)**

Desde a entrada da baía de Guajará-Mirim, frente da cidade de Belém, até poucas dezenas de quilômetros da baía de São Marcos, no Maranhão, ocorre uma costa de rias (embocaduras de rios incisos na borda dos tabuleiros, que foram afogadas pela

ascensão das águas do mar durante o último período transgressivo), parcialmente mascarado pelo advento recente de planícies de marés, comportando manguezais frontais e laterais aos sucessivos estuários oriundos da invasão marinha do início do Holoceno. Ao contrário de todas as planícies de marés existentes no Brasil Tropical Atlântico, as quais, via de regra, se encontram em pontos mortos da movimentação das águas costeiras – à retaguarda de lagunas de restingas, em fundos de estuários ou em deltas intralagunares dotados de labirínticas gamboas – os manguezais do Pará e Maranhão crescem perpendicularmente à linha de costa, na forma de largos e irregulares pontais. Ainda segundo Ab'Saber (2004), as imagens de radar e as observações em campo, confirmam tratar-se de uma costa de vales afogados (rias), logo mascarada pela retomada extensiva da sedimentação fina fluvio-marinha, nos lados dos estuários e das regiões frontais interestaduais.

O eixo das águas dos antigos estuários de rias foi mantido nos rasos estuários remanescentes da época principal de extensão das planícies de marés com manguezais. Somente em uma costa de rias, estabelecida em condições tropicais e numa área de forte sedimentação marinha e fluvio-marinha, poderia haver lugar para o estabelecimento de tal tipo de litoral tão rasamente indentado, se sucedendo uma costa bem mais alta, dotada inicialmente de vales fluviais de paredes bem marcadas nas bordas e nos flancos dos tabuleiros que entravam em contato direto com o mar.

As indentações dos vales afogados há 12.000–6.000 anos AP, sucederam as indentações rasas da atual costa de mangues frontais, com estuários estendidos. O processo de mascaramento das antigas rias, que compunham a primitiva costa alta regional, deve ter se acentuado por volta de 6.000–5.000 anos AP. Trata-se de um dos mais complexos casos de baixos vales costeiros – afogados pelo mar e retomados por planícies de marés – conhecido no cinturão das terras quentes e úmidas do globo. (AB'SABER, 2004)

A grandiosidade espacial e complexidade dos fatos físicos, hidrológicos e ecológicos do Golfão Marajoara, tem impedido a compreensão mais integrada da geomorfologia regional do Baixo Amazonas. Entre as “terras firmes” do Amapá, desde a margem esquerda do canal norte do rio Amazonas até o tabuleiro rebaixado de Nova Barcarena (antiga Vila do Conde), medeia um interespaço de planícies deltáicas antigas e atuais, envolvendo um espaço de 300 a 310 km de largura.

Ao norte e noroeste da ilha de Marajó, o delta de fundo de estuário do Baixo Amazonas chega a apresentar larguras de 100 a 120 km, incluindo canais desdobrados

(canal do Norte, canal do Vieira, canal de Gurupá, baía do Vieira Grande, canal Perigoso e canal Sul), que possuem largura variando entre 2 e 3 até 12 a 15 km, constituindo-se nos maiores canais deltáicos do planeta, o delta estuarino do Baixo Amazonas se inicia um pouco a jusante da foz do rio Xingu estendendo-se para nordeste por 350 a 380 km de extensão.

A porção centro-ocidental da ilha de Marajó constitui-se de um núcleo fundamental para a compreensão da geomorfologia de todo o Golfão Marajoara. Sob a forma de um nível de terraço intermediário, mantido por lateritas, essa porção da grande ilha existe desde o Pleistoceno médio para o superior, antes, da grande regressão pré-holocênica do nível do mar, processada entre 13.000 e 20.000 anos AP.

Contendo altitudes médias de 4 a 12 m acima do nível de maré média, esta placa mais elevada de terrenos sedimentares, serve de área de irradiação de rios e igarapés para todos os quadrantes, na direção do rio Breves, do rio Jacaré, do rio Pará e da baía de Marapatá (larga boca do rio Tocantins). (AB'SABER, 2004)

Quando da regressão pré-holocênica, em que a linha de costa recuou muito para dentro da plataforma e o nível geral dos oceanos permaneceu de -80 a -100m abaixo do seu nível médio atual, houve uma reincisão de todos os rios do Baixo e Médio Amazonas, criando canais profundos porém estreitos, ao norte e ao sul deste núcleo mais antigo da ilha de Marajó. Em contraposição, quando da última transgressão, o mar adentrou pelo seu cânion da plataforma, afogou as águas dos paleocanais existentes a norte e ao sul da Ilha de Marajó da época (núcleo sul-ocidental) e formou estuários e rias, de diversas ordens de grandeza em todo o recôncavo do antigo Golfão Marajoara. (AB'SABER, 2004)

Na margem sul dessa antiga reentrância estabeleceu-se, pela transgressão marinha, um estuário em corredor homogêneo, com 3-8 km de largura (rio Pará), até 16-20 km, mais para leste, na chamada baía de Marajó.

Ao norte, processou-se um largo e complexo serimgamento da antiga embocadura estendida do Amazonas, criando-se um estuário de dezenas até centenas de quilômetros de largura, com afogamento das águas fluviais até as proximidades do rio Xingu. Todos os baixos vales dos rios da Amazônia Oriental e parte da Central – em setores afetados pela erosão fluvial regressiva comandada pelo rebaixamento de -100 m do nível do mar, ao máximo da última transgressão (13000-18000 anos atrás) – sofreram encaixamentos importantes até as proximidades da zona das quedas, em plena área de contato entre os terrenos sedimentares e o embasamento cristalino resistente. O

caráter exageradamente ampliado de *rias* de água doce, apresentado por tais rios deve-se as conjugações dos fatos relacionados com as flutuações do nível do mar no quaternário, mas também com as notáveis modificações climáticas intertropicais que afetaram a região amazônica. (AB’SABER, 2004)

Quando o mar recuou e permaneceu por alguns milênios a uma centena de metros mais abaixo do que atualmente, o clima regional em seu conjunto era menos quente e muito mais seco – sazonalmente seco. Havendo menos precipitações, os rios eram bem menos volumosos, durante a fase máxima de encaixamento fluvial, por mudança de nível de base. Pelo oposto, durante a ascensão do nível do mar, por ocasião da última transgressão, processou-se uma retropicalização generalizada da região amazônica, com aumento de calor e, sobretudo, dos níveis de pluviosidade e umidade do ar.

Mais chuvas e teor de umidade, por grande espaços, foram fatos que provocaram a reexpansão florestal a partir dos refúgios pleistocênicos e determinaram, em última instância, um forte aumento de volume d’água para todo o conjunto de rios da Amazônia. O aumento no volume dos rios somado a ascensão do nível do mar no último período transgressivo, criaram condições para um complexo afogamento dos vales dos rios regionais, independentemente da ordem de grandeza de sua bacia hidrográfica.

Convém assinalar que, em termos de aplicação do conhecimento, todos os vales afogados da região devem apresentar antigos canais originados durante a época de mar baixo, sob a forma de criptocanais, colmatados ou não, no interior das largas rias de água doce da Amazônia. Tais paleocanais às vezes bastante profundos têm demonstrado excelentes vocações para sítios portuários, tanto no Golfão Marajoara quanto no Golfão Maranhense (Nova Barcarena – Vila do Conde, Ponta da Madeira). Nos dois casos citados o projeto Grande Carajás utilizou habilmente os paleocanais litorâneos regionais, para a feitura de portos especializados. )

As plataformas Bragantina e Paraense correspondem a áreas do embasamento que permaneceram tectonicamente estáveis entre as bacias sedimentares. A plataforma do Pará corresponde a uma ampla área, ainda pouco explorada, que engloba a porção leste da ilha de Marajó, estendendo-se costa afora, onde é interceptada pela fossa Vigia-Castanhal. (ROSSETTI, 2006).

Localizada no norte do Brasil, a Bacia de Marajó é também conhecida como um complexo geológico denominado de “Sistema de *Rift* do Marajó” (GALVÃO, 1991).

Este *rift* possui como limites a Bacia do Amazonas, a sul, Bacia de São Luís-Grajaú, a leste, e as plataformas do Pará e Bragantina a nordeste. (NASCIMENTO, 2002)

No período Cretáceo (60-140 Ma) bacias e sub-bacias sedimentares surgiram sobre esta plataforma continental, a exemplo da bacia sedimentar do Marajó, que se subdivide nas sub-bacias de Mocajuba, Mexiana e Cametá (SOARES JR. 2002).

Localizada no norte do Brasil, a sub-bacia de Cametá ocupa a porção sul da Bacia de Marajó, cuja evolução e estrutura alongada, com orientação NW-SE são decorrentes do estiramento litosférico, quando da abertura do oceano Atlântico Equatorial, no Eo-Cretáceo (GALVÃO, 1991).

Segundo Nascimento (2002), os depósitos Terciários encontrados à borda da sub-bacia de Cametá são correlacionáveis aos Grupos Ipixuna e Barreiras. O segundo grupo é representado por arenitos finos e médios, quartzosos, argilitos e conglomerados, de coloração amarelo avermelhada, enquanto que os depósitos Pós-Barreiras são constituídos de arenitos finos, maciços, de coloração marrom amarelada.

Por toda a margem leste do rio Pará, na área de influência do porto de Vila do Conde se pode notar a presença de afloramentos lateríticos e argilosos nas formas de barrancos, os quais constituem sistemas de terras caídas em conjunto com seus terraços.

## 3.2 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

### 3.2.1 Marés

A maré na região é definida como semidiurna, com duas preamares e duas baixamares semelhantes por dia lunar (24h 50min). O nível médio da água no porto de Vila do Conde encontra-se a 1,68 m acima do nível de redução estabelecido pela DHN para a região.

Segundo os registros horários de variação do nível do mar utilizados pela DHN, os níveis máximos e mínimos são (referidos ao Nível de Redução) 3,34 m e 0,15 m, respectivamente.

O comportamento da maré na região reflete a influência da vazão fluvial do rio Pará, uma vez que os tempos de enchente e de vazante são bastante distintos. A preamar se apresenta com uma duração de cerca de 5,5 horas, enquanto a duração da baixa-mar é de cerca de 7,3 horas. Esta característica também é reproduzida nas informações apresentadas na "*Tábua de Marés*" (publicação DG6 da DHN).

### 3.2.2 Correntes

Medições apresentadas em PLANAVE (2005) indicam que, de maneira geral, a corrente se inverte cerca de uma hora após a baixamar ou preamar, havendo um período de cerca de 30 minutos de corrente sem intensidade significativa antes da ocorrência de sua inversão - período da estofa da maré. (Tabela 02)

- direção predominante nas enchentes: SW/WSW a 3 m e WSW/a 6 m;
- direção predominante nas vazantes: NE e NNE a 3 m e WSW/a 6 m;

Tabela 02: Medições de correntes superficiais de marés enchente e vazante na área de estudo

ITEM	IDENT.	MARÉ	DATA	INÍCIO	FIM	DURAÇÃO	DISTÂNCIA PERCORRIDA (m)
1	94 E	Enchente	04/06/04	09:53:25	10:22:15	00:28:50	1616
2	96 E	Enchente	04/06/04	10:04:28	10:29:51	00:25:23	1257
3	98 E	Enchente	04/06/04	10:09:33	10:32:28	00:22:55	1086
4	93 E	Enchente	04/06/04	10:53:32	11:13:23	00:19:51	1051
5	95 E	Enchente	04/06/04	10:57:32	11:21:47	00:24:15	1402
6	97 E	Enchente	04/06/04	11:01:58	11:27:36	00:25:38	1277
7	93 V	Vazante	04/06/04	15:39:50	16:33:00	00:53:10	283
8	95 V	Vazante	04/06/04	15:36:20	16:00:10	00:23:50	1176
9	97 V	Vazante	04/06/04	15:43:30	16:21:05	00:37:35	1363
10	94 V	Vazante	04/06/04	16:36:55	17:29:35	00:52:40	1622
11	98 V	Vazante	04/06/04	16:50:45	17:17:50	00:27:05	1143
12	209 E	Enchente	05/06/04	09:43:40	10:51:20	01:07:40	2209
13	207 E	Enchente	05/06/04	09:54:40	10:46:00	00:51:20	2395
14	206 E	Enchente	05/06/04	11:20:35	11:51:55	00:31:20	1899
15	205 E	Enchente	05/06/04	11:22:00	11:53:20	00:31:20	1856
16	204 E	Enchente	05/06/04	11:22:55	11:54:30	00:31:35	1714
17	203 E	Enchente	05/06/04	12:12:55	12:54:15	00:41:20	1789
18	201 E	Enchente	05/06/04	12:28:50	13:00:30	00:31:40	1344
19	001 V	Vazante	05/06/04	15:35:45	16:01:05	00:25:20	1268
20	002 V	Vazante	05/06/04	15:36:50	16:00:05	00:23:15	1101
21	004 V	Vazante	05/06/04	16:18:05	16:52:00	00:33:55	1413
22	005 V	Vazante	05/06/04	16:19:25	16:58:25	00:39:00	1492
23	006 V	Vazante	05/06/04	16:20:35	17:00:55	00:40:20	1645
24	007 V	Vazante	05/06/04	17:22:55	17:43:05	00:20:10	1019
25	008 V	Vazante	05/06/04	17:24:50	17:46:20	00:21:30	1100
26	009 V	Vazante	05/06/04	17:26:15	17:53:55	00:27:40	1491
27	200 E	Enchente	06/06/04	10:31:25	11:43:50	01:12:25	2877
28	202 E	Enchente	06/06/04	10:33:30	11:42:00	01:08:30	2548
29	000 V	Vazante	06/06/04	07:04:00	08:31:15	01:27:15	3424
30	002 V	Vazante	06/06/04	07:06:40	08:26:55	01:20:15	3438
31	004 V	Vazante	06/06/04	07:08:05	08:28:50	01:20:45	3406

Fonte: PLANAVE, 2005

### 3.3 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

#### 3.3.1 Clima

O clima da região é do tipo tropical úmido, caracterizado pela classificação de KOPFEN como *Af* ou, ainda, como 4° úmido megatério pela classificação de THORNTWAITE. Apresenta temperaturas médias anuais em torno de 27 °C, com máxima absoluta de 35 °C e mínima absoluta de 20 °C. A umidade relativa do ar é superior a 80% (LIMA & KOBAYASHI, 1988), chegando até 87%.



O período chuvoso tem início em dezembro, estendendo-se até o final de junho, com médias de precipitação anual próximas de 2.500 mm. Os valores extremos chegam à máxima anual de 3.337,6 mm, com máxima mensal de 424,5 e máxima diária de 118 mm.

### 3.3.2 Ventos

Os ventos na região são fracos pela manhã e moderados a fracos à tarde, rondando de norte para leste. O vento dominante (e que corresponde ao de maior intensidade) é o de NNE, do mesmo setor que os ventos reinantes, os mais freqüentes. (Figura 03) (PLANAVE, 2005)

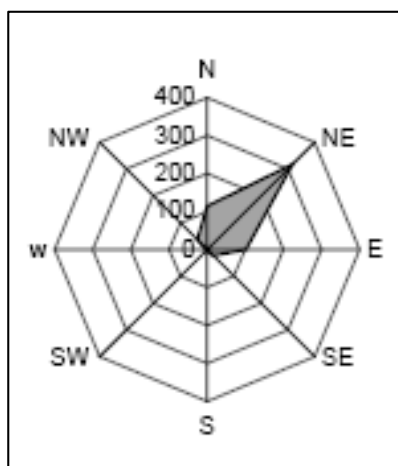


Figura 03: Rosa dos ventos. Vento dominante. Fonte: PLANAVE, 2005

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A apresentação de alguns conceitos faz-se necessária, dada a profusão destes e de suas variantes na literatura especializada, bem como da nomenclatura, especialmente no que se relaciona às temáticas desenvolvidas no presente trabalho.

### 4.1 ESTUÁRIOS

Os estuários são encontrados no mundo todo e em todo tipo de clima correspondendo a um ambiente costeiro em conexão com o oceano, podendo ser subdividido em zonas distintas, com limites dinâmicos que podem variar sazonalmente de acordo com a intensidade e a variabilidade dos diferentes agentes como a descarga hídrica, regime e amplitude de marés, ventos, circulação da região costeira adjacente (MIRANDA & CASTRO FILHO, 1996)

A evolução destes ambientes sedimentares costeiros depende da interação entre parâmetros hidrodinâmicos, sedimentares e morfológicos, e onde a atividade biológica é uma condicionante fundamental. Constituindo meios receptores de sedimentos por excelência, onde os processos evolutivos são extremamente dinâmicos, são importantes zonas de investigação da morfodinâmica atual e fácies deposicionais da história geológica recente. Além disso, os estuários apresentam uma série de potencialidades, mas, ao mesmo tempo, limitações que, quase sempre, são deixadas à margem de qualquer ação em nome do desenvolvimento econômico (Boulhosa, 2007)

Segundo Miranda et al. (2002), estuários são ambientes de transição entre o continente e o oceano, onde ocorre o encontro das águas dos rios com as água do mar, e a conseqüente diluição da água salgada. De forma geral, as águas estuarinas são biologicamente mais produtivas que as águas do rio e do oceano adjacente, em função dos processos relacionados com a circulação hidrodinâmica, que aprisionam os elementos, aumentando a produtividade primária nesses ambientes.

É importante salientar que o ambiente estudado está localizado na porção do estuário superior do rio Pará, local este de domínio fluvial sob influencia de maré dinâmica.

A carga detrítica nos cursos d'água é uma mistura de partículas de várias espécies, tamanhos e formas. Mecanicamente, a espécie da partícula exprime-se pela sua densidade, o tamanho pelo seu diâmetro maior e a forma pela medição da

esfericidade. Embora a movimentação detrítica seja o processo fluvial extremamente importante, só pequena parcela de energia do rio é gasta no transporte de carga detrítica. Calcula-se que 95% da energia é consumida pela turbulência interna das águas pela fricção nas paredes do perímetro úmido. (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Segundo Christofolletti (*op cit.*), uma parcela da carga detrítica dos cursos de água é obtida pela ação erosiva que as águas exercem sobre as margens e fundo do leito. A maior parte, entretanto, é fornecida pela remoção detrítica das vertentes. Por esta razão há muito tempo reconhece-se que o transporte de sedimentos é governado por fatores hidrológicos que controlam as características e o regime nos cursos d'água. Os fatores hidrológicos, cujos mais importantes são a quantidade e a distribuição das precipitações, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal influenciam a formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e o carregamento desses materiais até os rios. O fluxo e o transporte de sedimentos constituem respostas aos processos e ao estado de equilíbrio atuantes no sistema fluvial.

A sedimentação fluvial inclui os processos de remoção, transporte e deposição das partículas do regolito, envolvendo toda a dinâmica da bacia de drenagem. Toda a bacia fluvial é responsável pelo fornecimento detrítico aos cursos de água que, em conjunto, torna-se o fenômeno natural de maior ocorrência na esculturação da rede de canais e das paisagens encontradas na superfície terrestre. Em virtude de sua atuação o ambiente de sedimentação fluvial é importante para elucidar e interpretar a evolução histórica de paisagens na escala geológica. O conhecimento minucioso das condições de produção, remoção, transporte e deposição dos sedimentos é extremamente importante, porque se refletem nas características das camadas sedimentares que funcionam como sedimentos correlativos e vestígios das condições morfoclimáticas imperantes nas áreas continentais. (CHRISTOFOLETTI, *op. cit.*)

#### 4.2 ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA

A determinação das propriedades físicas dos sedimentos é de fundamental importância para o entendimento da dinâmica responsável pela formação de depósitos sedimentares. Neste contexto, a propriedade mais importante dos sedimentos é, provavelmente, a dimensão das partículas que os compõem e a quantificação por grandes classes dimensionais. O estudo da distribuição de sedimentos em classes granulométricas recebe a denominação de “Análise Textural ou granulométrica”.

Considera-se, em geral, que os sedimentos são fundamentalmente constituídos por quatro classes texturais, com propriedades físicas relativamente distintas: cascalho, areia, silte e argila.

A análise das dimensões das partículas é importante, pois permite deduzir indicações preciosas, tais como a proveniência, transporte e ambientes deposicionais.

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem as amostras e no tratamento estatístico dessa informação. Basicamente, o que é necessário fazer é determinar as dimensões das partículas individuais e estudar a sua distribuição pelo peso de cada classe textural considerada.

Para estudar a distribuição granulométrica das partículas que constituem um sedimento é preciso, obviamente, utilizar uma escala. As primeiras a serem utilizadas foram as escalas milimétricas. Posteriormente foi desenvolvida a escala logarítmica de Wentworth (1922), designada como “escala  $\phi$  (phi)”, que facilitou a aplicação dos métodos estatísticos convencionais à sedimentologia, tendo ampla aceitação pela comunidade científica.

Os métodos mais conhecidos para efetuar a análise granulométrica de sedimentos são: o peneiramento a seco, peneiramento via úmida, decantação e centrifugação (separação silte-argila)

A forma mais simples e fácil de visualização da distribuição granulométrica corresponde aos histogramas, onde cada classe textural é representada por uma coluna proporcional à percentagem que essa classe tem na amostra analisada, isto é, a percentagem ponderada dessa classe.

#### 4.3 CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DE SEDIMENTOS POR FOLK (1954)

Segundo Dias (2004) a classificação proposta por Folk, em 1954, baseia-se, essencialmente, em um diagrama triangular em que são representados proporcionalmente os conteúdos percentuais em cascalho ( $>2\text{mm}$ ), areia ( $2\text{mm}$  a  $63\mu$ ) e lama ( $<63\mu$ ).

Para aplicar esta classificação torna-se necessário conhecer duas grandezas: as quantidades percentuais de cascalho, utilizando-se as fronteiras de 80%, 30%, 5% e traços ( $<0,01\%$ ); e a razão areia/lama, usando-se as fronteiras proporcionais 9:1, 1:1 e 1:9. (DIAS, op. cit).

Na concepção desta classificação, Folk utilizou vários princípios científicos. Por exemplo, a quantidade de cascalho existente no sedimento é extremamente significativa, pois a deposição ocorre em função de velocidades máximas da corrente de fundo. Mesmo uma quantidade ínfima desta classe textural pode refletir as características que o fluxo tinha no período de deposição. (DIAS, op. cit)

Ainda segundo o autor retrocitado, a proporção entre areia e lama é também importante, pois esta depende das características do fluxo durante a deposição e da capacidade de remobilização que esse fluxo possuía. A classificação dos sedimentos lodosos é efetuada segundo o conteúdo percentual em areia (considerando as fronteiras de 10%, 50% e 90%) e a proporção argila/silte (utilizando as fronteiras 2:1 e 1:2).

#### 4.4 MINERALOGIA

Os minerais pesados têm sido tradicionalmente utilizados em estudos sedimentológicos, estratigráficos e econômicos. No campo da sedimentologia, esses minerais envolvem principalmente estudos que auxiliam na interpretação da história deposicional de sedimentos, facilitando a identificação da área-fonte dos mesmos para um determinado ambiente, além de indicar a dispersão dos sedimentos.

Ocorrem de forma acessória, cuja densidade é superior a 2,8, isto é, superior à do quartzo (2,65) e à dos feldspatos (2,56 à 2,76).

A análise de minerais pesados vem sendo usada com frequência em estudos voltados à exploração de petróleo, na análise de bacias, na correlação de fácies e geometria de reservatórios potenciais. Além disso, por servirem como guias prospectivos, estes minerais são utilizados em trabalhos de prospecção, como na identificação de kimberlitos, ou de depósitos primários de estanho através de grãos de cassiterita, de tungstênio, e de scheelita. Entretanto, vale ressaltar que a utilização de minerais pesados não se restringe à geologia econômica ou à correlações estratigráficas.

Os primeiros estudos utilizando minerais pesados foram efetuados no final do século XIX. Contudo, até o início do século XX, o estudo da composição mineralógica dos sedimentos era feito, essencialmente, do ponto de vista qualitativo. Foi Edelman, 1993 que realizou o primeiro estudo sedimentológico baseado na análise sistemática da distribuição de minerais, autor este que introduziu o conceito de “província sedimentar” para designar o conjunto de sedimentos que possuem a mesma idade de formação, a mesma origem e mesma distribuição. (MARTINS, 2007)

Nas décadas de 50 e 60 do século XX a escola francesa desenvolveu bastante esta linha de investigação, conseguindo grande êxito na utilização das diferentes espécies ou variedades de espécies como indicadores de origem e como traçadores do transporte sedimentar. Foi, no entanto, a escola norte-americana que desenvolveu, sobretudo após a II Guerra Mundial, a interpretação do comportamento hidrodinâmico dos diferentes grãos de minerais pesados presentes em diferentes ambientes sedimentares atuais, linha essa que se iniciou com o trabalho de Rubey, 1933 (Dias, 2004)

Durante o período de 1920 a 1940, geólogos do petróleo usavam frequentemente estudos de minerais pesados para solucionar problemas de proveniência e correlação de arenitos, mas estes estudos foram logo substituídos por estudos de microorganismos e técnicas de *logging* elétrico (Hubert, 1962). As análises de minerais pesados declinaram primeiramente pela dificuldade encontrada na grande flutuação das proporções de espécies de minerais pesados e na própria escolha do tamanho de grão.

A composição das assembléias de minerais pesados detríticos não é controlada apenas pela mineralogia presente nas rochas da região de origem. O traço original de proveniência pode ser modificado por alguns processos atuantes durante o ciclo de sedimentação (Morton e Hallsworth, 1999), desta forma, os minerais pesados não refletem somente a composição da área-fonte, mas também podem refletir os processos atuantes durante o ciclo sedimentar.

Morton e Hallsworth (1999) definem três processos principais atuantes durante o transporte e a deposição de sedimentos: seleção física, abrasão mecânica e dissolução. A seleção física acontece como resultado das condições hidrodinâmicas durante os estágios de transporte e deposição, e controla a abundância relativa e absoluta dos minerais pesados. A abrasão mecânica ocorre durante o transporte gerando uma diminuição no tamanho de grão, pela combinação entre ruptura e arredondamento. A dissolução causa perda parcial ou completa de minerais pesados em uma variedade de condições geoquímicas em diferentes estágios de ciclo sedimentar. (MARTINS, 2007)

Esses processos ocorrem em diferentes estágios do ciclo sedimentar. O intemperismo nas rochas-fonte causa a modificação da mineralogia anterior à incorporação ao sistema de transporte através da dissolução seletiva. Durante o transporte, os minerais podem ser seletivamente perdidos através da abrasão mecânica e do intemperismo atuante durante o período de residência. Os processos hidráulicos que

ocorrem durante o transporte e o período de deposição afetam significativamente a concentração de minerais pesados com diferentes características hidráulicas. A diagênese remove seletivamente minerais instáveis como resultado das mudanças nas condições físico-químicas, diferentes daquelas da deposição.

Um dos fatores mais importantes na interpretação dos dados obtidos como a identificação das assembléias de minerais pesados é a estabilidade (mecânica e química) de cada espécie. A estabilidade mecânica define a habilidade do mineral em resistir à abrasão de outros processos de redução de tamanho durante o transporte, enquanto que a estabilidade química reflete a resistência do mineral à dissolução e à alteração em um ambiente químico particular.

A classificação de minerais segundo sua estabilidade relativa (Tabela 03) foi estabelecida por Pettijohn et al. (1987). Para estes autores, os minerais apresentam uma ordem de estabilidade que vai de muito instável, como é o caso da olivina, a qual é formada em altas temperaturas e possui uma estrutura cristalina simples e uma composição química com cátions relativamente móveis ( $Mg^{++}$  e  $Fe^{++}$ ), passando por ordens intermediárias de estabilidade até os minerais ultra-estáveis, que são os minerais mais resistentes às ações do intemperismo, por conterem uma estrutura cristalina mais compacta e uma composição química mais estável, como é o caso do rutilo, do zircão e da turmalina.

Tabela 03: Ordem de estabilidade dos minerais pesados de Pettijohn et al., 1987.

Estabilidade	Minerais
Muito instáveis	Olivina
Instáveis	Hornblenda Actinolita Augita Diopsídio Hiperstênio Andaluzita
Moderadamente estáveis	Epídoto Cianita Granada (rica em ferro) Silimanita Esfeno Zoisita
Estáveis	Apatita Granada (Pobre em ferro) Estauroлита Monazita Anatásio
Ultra-estáveis	Rutilo Zircão Turmalina

A contribuição mineralógica da área-fonte é de grande importância para o entendimento dos processos da deposição porque controla a composição química dos sedimentos e a formação de novos minerais (Costa et al. 2004). Contudo, a distribuição dos minerais pesados em depósitos sedimentares, assim como sua proveniência, não é controlada apenas pela paleogeografia e petrologia da área fonte, uma vez que uma série de fatores que atuam durante o ciclo sedimentar (intemperismo químico,



comportamento hidráulico, etc...) fazem com que as assembléias sofram modificações composicionais que, muitas vezes, acabam por dificultar as interpretações de proveniência (Morton & Hallsworth., 1999) (Figura 04)

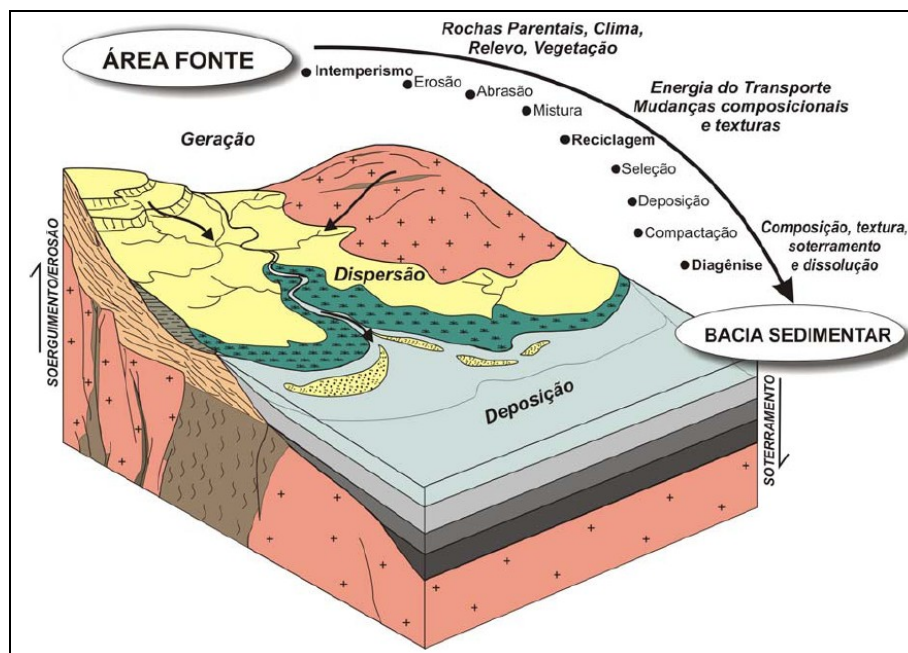


Figura 04: Ilustração esquemática dos fatores e processos que determinam a com posição dos arenitos e das assembléias de minerais pesados durante o ciclo sedimentar.

Fonte: Modificado de Nascimento (2006)

A natureza e as características das áreas-fonte podem ser verificadas através do estudo da composição do próprio depósito. As areias, mais do que qualquer outro sedimento, permite esta identificação uma vez que os constituintes detríticos, minerais e fragmentos de rochas, são determinados pela natureza das rochas-fonte. Alguns minerais são característicos de um tipo ou classe particular de rocha-fonte – como por exemplo a cianita que é um indicador de fonte metamórfica (metassedimentar aluminosa). Outros minerais, tais como o quartzo, presente com frequência nos pacotes sedimentares, quando apresenta boa formação e uniformidade, revela características de uma fonte particular: trata-se de um quartzo vulcânico. (MARTINS, 2007)

Tanto os minerais detríticos leves como os pesados têm sua importância nos estudos de proveniência, porém os minerais pesados apresentam uma maior contribuição desde os estudos de Boswell (Pettjohn et al., 1987). Minerais detríticos, particularmente os pesados, vêm sendo usados como elementos chave para a

identificação da natureza da área-fonte. Feições variadas, como inclusões, cor e morfologia servem como guias para determinar o tipo de rocha fonte.

#### 4.5 DINÂMICA SEDIMENTAR

Quando o escoamento da água (ou ar) sobre um fundo formado por sedimentos não coesivos é forte o suficiente para mover as partículas, o fundo é moldado em uma forma topográfica com variação vertical de milímetros a vários metros. A geometria tridimensional da topografia de fundo é governada pela interação do fluido com o sedimento. (Cheel, 2005)

Desde o século passado muitos trabalhos vem sendo direcionados a descrição das características e comportamento das formas de fundo sob fluxos unidirecionais. Este tipo de pesquisa vem sendo conduzida por sedimentologistas e engenheiros por duas grandes diferentes razões. Engenharia está concentrada nos efeitos do escoamento do fluido sobre os fundos de sedimento móvel devido está assunto estar relacionado com problemas associados com a mudança de água de um lugar para outro (ex. para geração de energia hidrelétrica, irrigação ou abastecimento de cidades). Canais abertos são geralmente escavados em sedimentos inconsolidados e o fluxo da água através destes pode ser a causa para o transporte do sedimento e finalmente resultando na formação das formas de fundo.

Formas de fundo são primariamente estruturas sedimentares, estruturas estas formadas no tempo de deposição do sedimento as quais refletem algumas características do ambiente deposicional. Além disso, tais formas produzem uma variedade de formas estratigráficas que são comuns na história geológica.

O transporte de sedimentos através de fundos planos ocorre com intenso contato, com cargas em saltação e suspensão. Próximo ao fundo a concentração de sedimentos transportada é particularmente alta. Então a direção de imbricação de grãos, apresentada no plano, pode também ser usada para inferir a direção absoluta do fluxo. Um método fácil para determinar a direção do paleofluxo é possível se minerais pesados eram abundantes no plano de fundo estudado. Na superfície de fundos planos o gradiente de teor de minerais pesados é geralmente decrescente a tende a formar sombras de minerais pesados. (Figura 05)

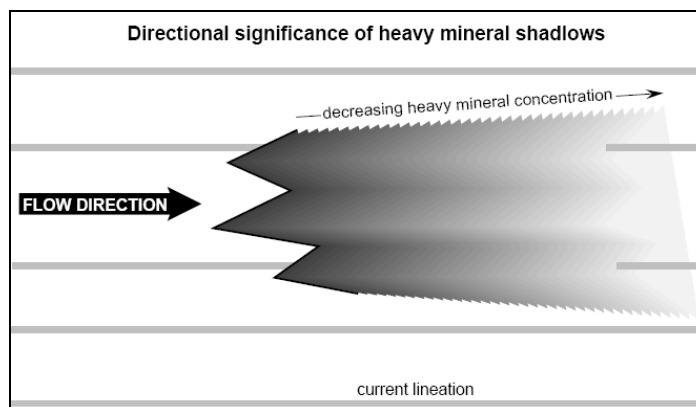
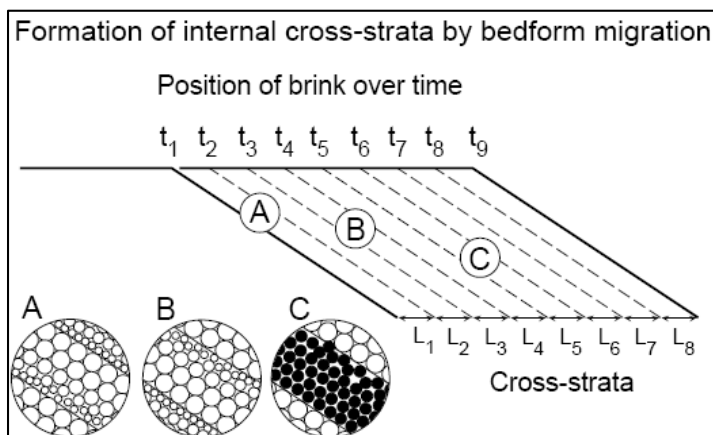


Figura 05: Sombra de minerais pesados sob escoamento linear em superfície de fundo plano. Fonte Cheel (2005)

O fluxo e o tipo de sedimento presente no ambiente determinam as formas preservadas no fundo. As formas de fundo ficam então, preservadas em camadas sedimentares que se diferenciam mineralogicamente ou texturalmente. As camadas podem se depositar sob influencia, por tanto, de diferentes mecanismos. (Figura 06)



Figuras 06: Ilustração mostrando a formação da estratificação interna com migração de formas de fundo por episódios de deposição no topo da estrutura, seguido de fluxo de grãos (A, gradação inversa), queda periódica de grãos em suspensão (B; Gradação normal) e deposição de sedimento enriquecido em minerais pesados (C). Fonte: Cheel (2005)

Na natureza, a concentração dos minerais pesados ocorre, sobretudo, em virtude da perda de energia da corrente produzida pelo agente de transporte (rio, mar, vento) o que ocasionará a deposição desses materiais mais densos nos sítios mais propícios. De modo geral, esses locais favoráveis à deposição e à acumulação de minerais econômicos são denominados trapas (do inglês trap = armadilha).

Por exemplo, no caso de transporte fluvial, a deposição das partículas se dá em pontos singulares onde ocorre a diminuição da velocidade de corrente. Em geral as áreas mais propícias para formar tais depósitos são facilmente reconhecidas por causa do acúmulo de cascalho. Pode-se notar a formação de depósitos de minerais pesados em trechos encachoeirados, zonas de corredeira, zonas marginais ou centrais do leito ativo das correntes, porções côncavas e áreas de encontro de rios com diferentes velocidades de corrente.

Segundo Pereira (2005) a dispersão de minerais pesados pode não acompanhar o modelo tradicional de diluição de anomalias geoquímicas, que decaem corrente abaixo, à medida que se distanciam das áreas-fonte. Por exemplo, as concentrações podem ser acentuadas, em virtude da existência de sítios favoráveis (armadilhas) à capturas desses minerais, o que provocará falsas anomalia corrente abaixo.

Os principais depósitos formados pela concentração mecânica de minerais resistentes ao intemperismo físico e químico das rochas são os pláceres. Muitos depósitos ricos em minerais pesados, tais como ouro nativo, a cassiterita, a magnetita e a ilmenita são encontrados em pláceres, cuja concentração ocorre pela seleção mecânica de correntes fluviais. Os minerais de maior densidade são depositados antes dos minerais mais leves. Assim tendem a se acumular em leitos de rios ou em barras de canal, onde a corrente é forte o suficiente para transportar em suspensão, os minerais mais leves, mas é relativamente fraca para movimentar os mais pesados. Os principais minerais encontrados em pláceres são minerais de estanho, platina, nióbio, tântalo, titânio, zircônio e elementos de terras raras (ETR), além de ouro nativo e diamantes.

De maneira similar e por variação brusca de energia mecânica, as ondas depositam preferencialmente minerais pesados sobre as praias ou em plataformas rasas. (NEVES *et al*, 2008)

Ainda sobre pláceres, segundo Baptista Neto (2004) são acumulações sedimentares formadas pela concentração mecânica de minerais detriticos de interesse econômico, incluindo diversos bem metálicos e pedra preciosas, originados da decomposição e erosão rochas-fonte principalmente ígneas, mas também de veios e de rochas metamórficas sedimentares.

O retrabalhamento dos sedimentos das praias pelas ondas e correntes costeiras, principalmente durante tempestades, quando é maior a energia das ondas, provoca a concentração dos minerais mais densos, formando os já citados pláceres de minerais pesados. Estes depósitos praias podem ser posteriormente afogados por eventos

transgressivos do nível do mar, permanecendo como depósitos sedimentares submersos, caso sejam colocados abaixo do nível de ação das ondas na plataforma continental. Durante eventos regressivos do nível do mar, ou em função de progradação litorânea em áreas de sedimentação intensa, os placeres de praia também podem ficar preservados junto com os terraços marinhos elevados.

No Brasil as principais áreas de exploração de minerais pesados ocorrem em placeres associados a terraços marinhos elevados situados acima, ou adjacentes as falésias do grupo Barreiras, no litoral sul da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Tais ocorrências tiveram como rocha fonte os sedimentos semi consolidados do grupo Barreiras que foram erodidos pela ação das ondas e correntes costeiras, formando falésias e plataformas de abrasão marinha, sobre as quais situam-se os placeres que são ricos em ilmenita, zircão, rutilo e monazita.

## **5 METODOLOGIA**

### **5.1 PRÉ-CAMPO**

#### **5.1.1 Definição de projeto**

Esta etapa considerou a idealização da problemática abordada, hipóteses de trabalho, objetivos a serem alcançados, metodologias, definição de área de estudo.

#### **5.1.2 Levantamento bibliográfico e cartográfico**

Nesta etapa a metodologia utilizada envolveu a consulta e análise de dados bibliográficos e cartográficos disponíveis para a área de estudo, de modo que fosse estabelecida a fundamentação teórica de base, necessária ao desenvolvimento das diversas etapas do trabalho.

Foi realizado um levantamento de dados referentes à área portuária de Vila do Conde, com base na literatura técnico-científica específica. O mesmo apoiou-se na consulta ao acervo da Biblioteca Central da Universidade Federal do Pará (UFPA), na Biblioteca Setorial do Instituto de Geociências (UFPA) e Biblioteca Domingos Soares Ferreira Penna (Museu Paraense Emílio Goeldi), Biblioteca do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), além de consultas na Internet (*sites* de busca e Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES).

Os levantamentos de dados batimétricos e cartográficos foi realizado junto à Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental (AHIMOR), que gentilmente cedeu arquivos digitais de levantamentos batimétricos da área portuária de Vila do Conde, realizados em 1999. (Figura 07)

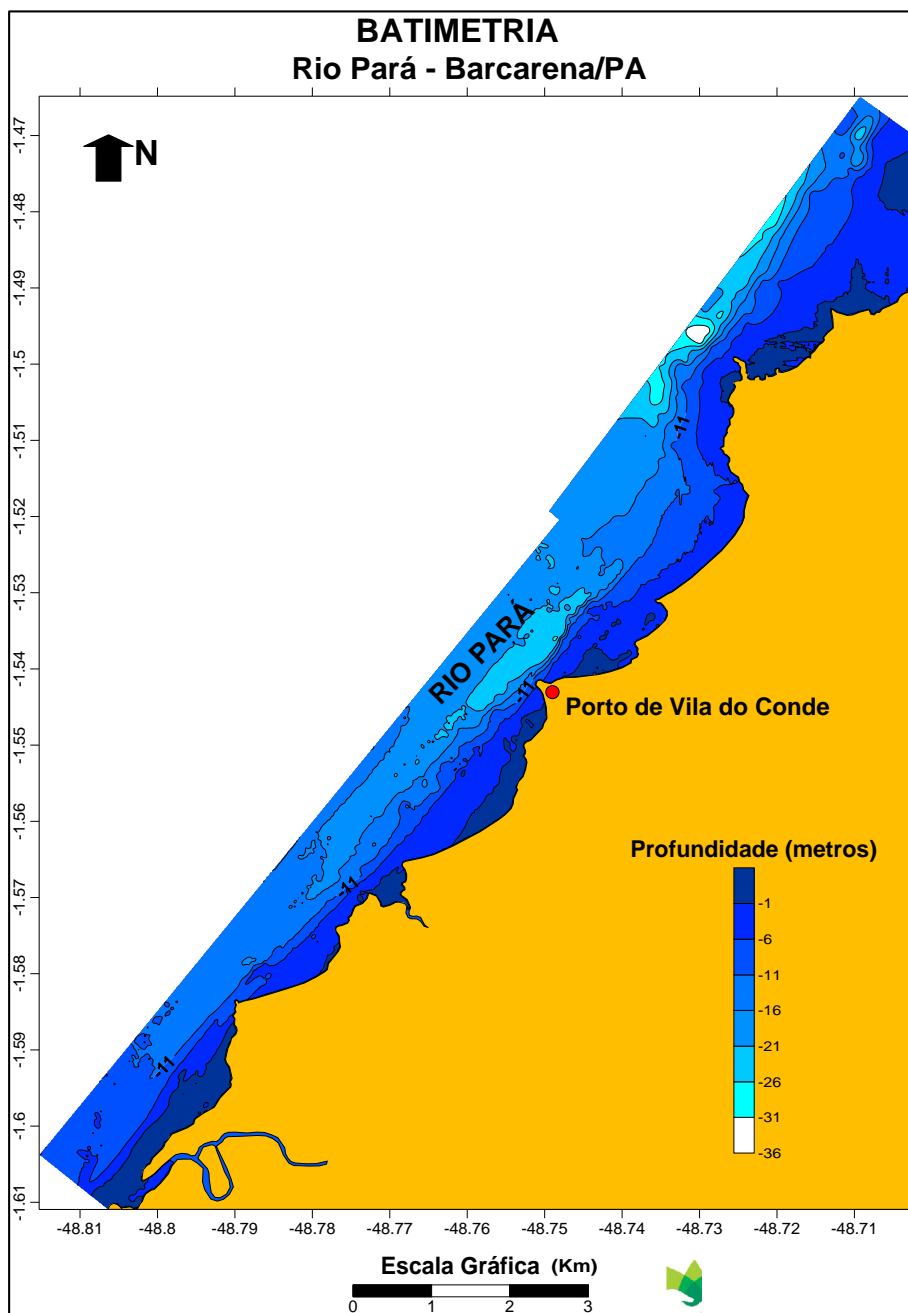


Figura 07: Mapa batimétrico do rio Pará, na área de influência do Porto de Vila do Conde.

### 5.1.3 Geração de base cartográfica de referência

Com os produtos de sensores remotos disponíveis, foi elaborada a carta-imagem devidamente georeferenciada para a área de estudo (Figura 08), que serviu de base para o planejamento e plotagem das linhas batimétricas, digitalização das linhas de contorno e auxílio nos trabalhos de campo.

A carta-imagem foi elaborada com apoio da pesquisadora e bolsista PCI/MPEG, MSc. Messiana Beatriz Malato Boulhosa, no Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido da Universidade Federal do Pará (LAIT/UFPA), tendo como elemento de análise e processamento uma imagem SPOT 5 (com 10m de resolução espacial, sensor HRG, bandas 1 (0,50 a 0,59  $\mu\text{m}$ ), 2 (0,61 a 0,68  $\mu\text{m}$ ) e 3 (0,78 a 0,89  $\mu\text{m}$ ), cedida pelo Projeto PIATAM-mar).

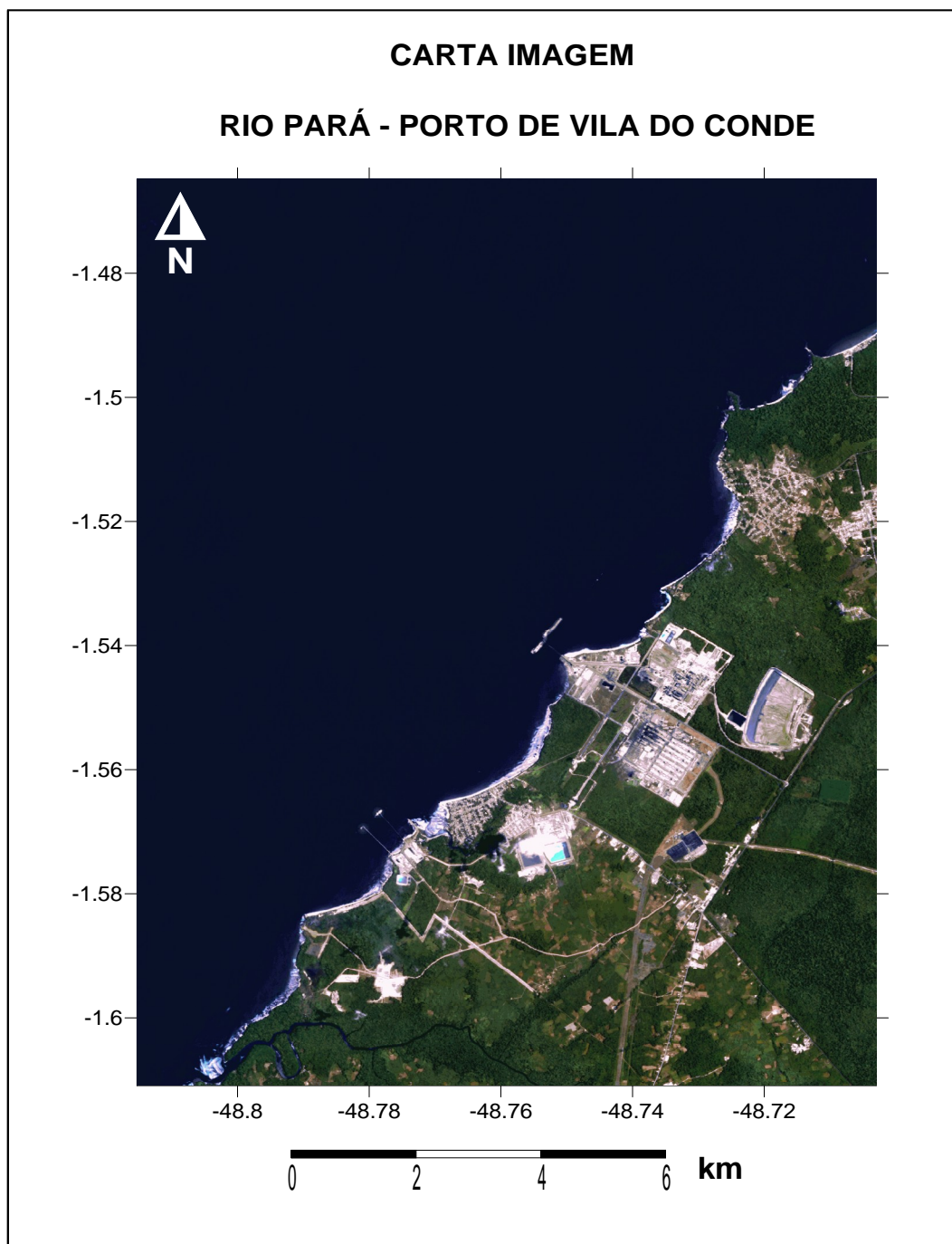


Figura 08: Imagem Spot composição colorida (2R3G1B) com realce linear



### 5.1.4 Definição de malha de amostragem

A malha de amostragem foi projetada com base na carta batimétrica e morfologia de fundo para maior representatividade. Foram coletados 254 amostras sedimentológicas, destas, 19 foram utilizadas para as análises mineralógicas. (Figura 09)

Os dados batimétricos cedidos pela Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental (AHIMOR) foram convertidos em tabelas para a confecção de *grid's* e contornos de superfície de plotagem em três dimensões (3D), através do *software Surfer 8.0*. (LANDIM, 2008)

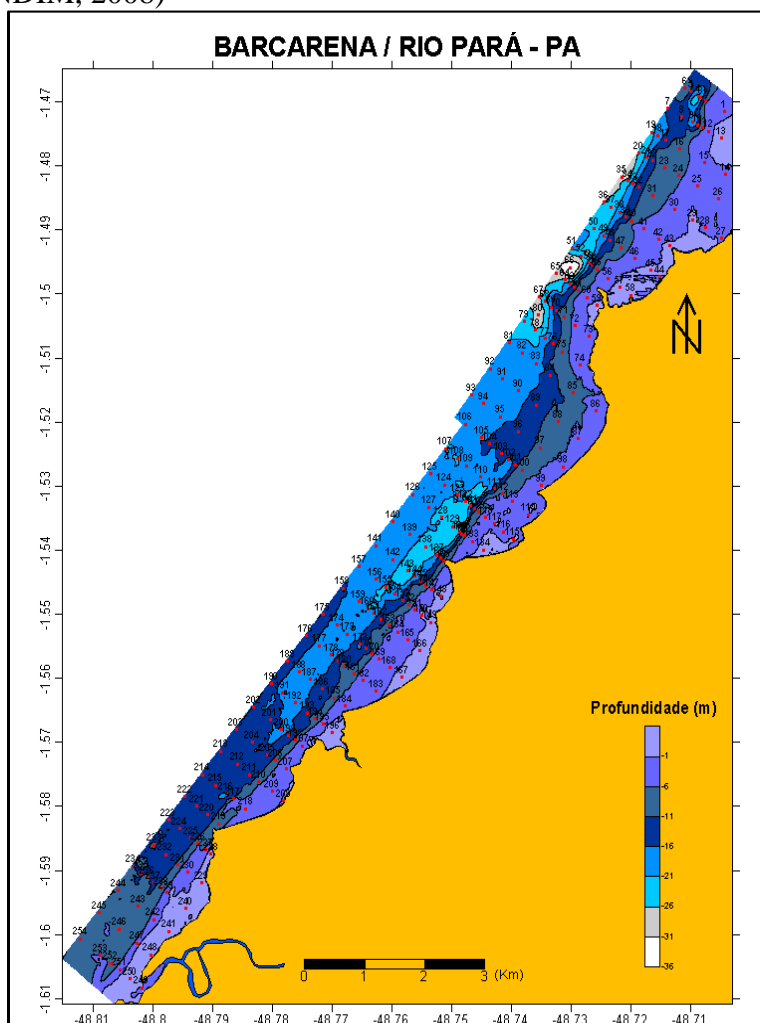


Figura 09: Malha de amostragem de sedimentos de fundo

### 5.2 CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados no período de 30 de março a 05 de abril de 2007. Os deslocamentos na área de estudo foram realizados mediante navegação em tempo real, utilizando a metodologia de conexão de um GPS Garmin Etrex, acoplado a

um notebook equipado com o software GPS TrackMaker 4.01, que recebia as coordenadas geodésicas fornecidas pelo GPS, transportando-as para uma imagem de satélite utilizada como base cartográfica de referência, juntamente com o mapa de contorno com pontos projetados, permitindo, assim, a visualização exata da posição ocupada pelo meio flutuante, bem como a profundidade registrada no mapa de contorno.

Todos os pontos de coleta tiveram suas coordenadas geográficas definidas através do sistema de posicionamento global por satélite (GPS), e posteriormente plotados na base cartográfica de referência. (Figura 10)

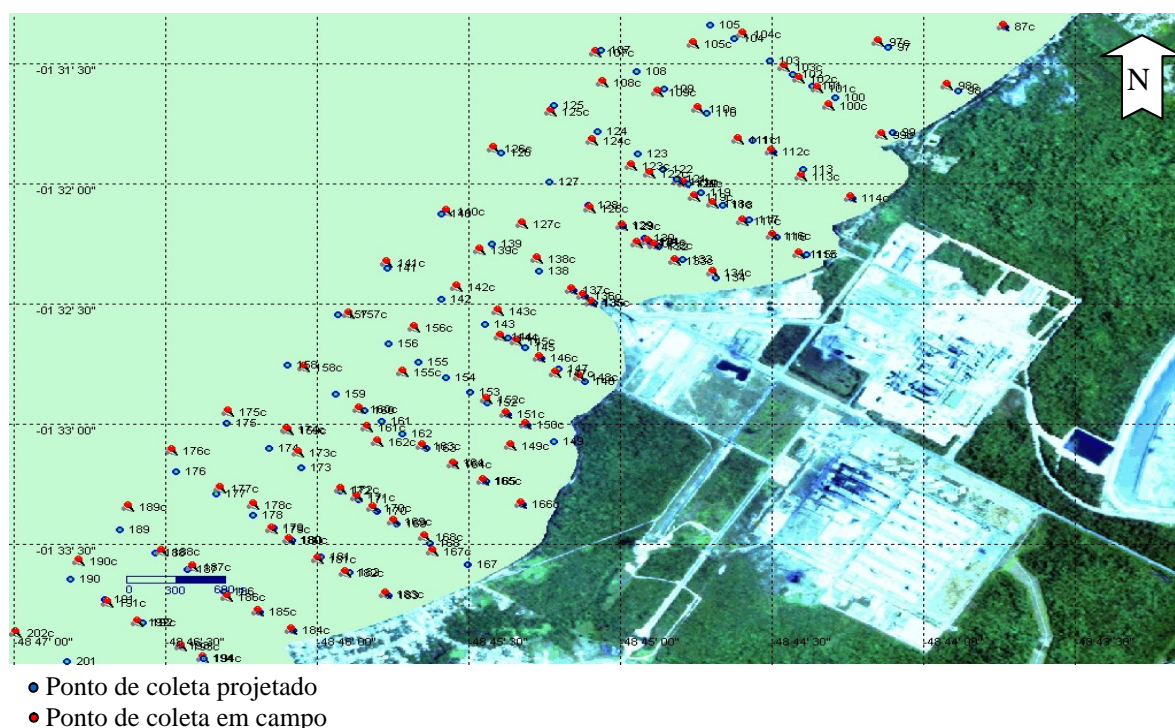


Figura 10: Detalhe do setor do rio Pará em frente ao píer do Porto de Vila do Conde, mostrando a localização dos pontos de coleta projetados e os pontos de coleta em campo.

Para a coleta de sedimentos foi utilizado o amostrador de fundo tipo Petersen (Figura 11A), operado de forma manual ou com o auxílio de um guincho elétrico (Figura 11B), que continha um cabo de aço de 60 metros de comprimento e capacidade para sustentar uma massa equivalente a 150 kg.

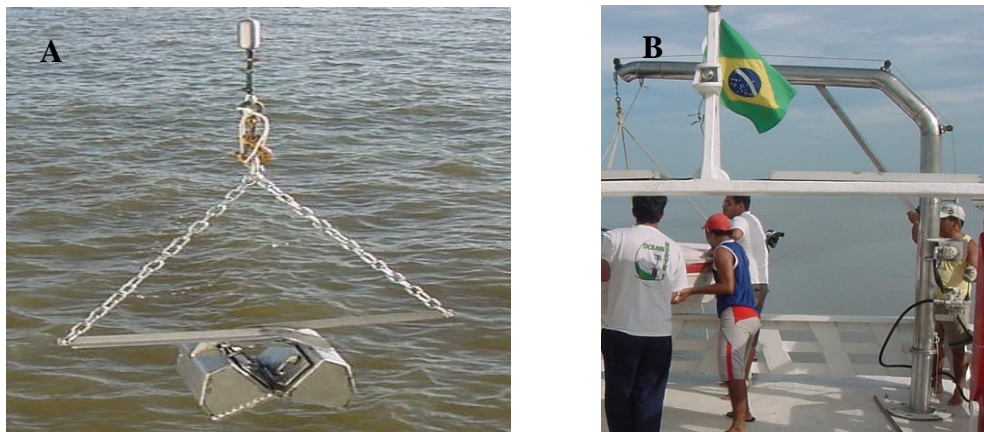


Figura 11: (A) Amostrador de fundo tipo Petersen; (B) Guincho elétrico utilizado para lançar o amostrador

Ao ser içado da água, o amostrador era aberto sobre uma basqueta de acrílico (Figura 12A), onde o sedimento era disposto para sub-amostragem (Figura 12B) para análises sedimentológicas e mineralógicas.



Figura 12: Abertura do amostrador em basqueta de acrílico; (B) Subamostragem para análises sedimentológicas e mineralógicas.

Foram coletadas, em média, cerca de 350 g de amostras de sedimento de fundo, as quais foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas com etiquetas impressas em papel vegetal (Figura 13).

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em engradados plásticos e encaminhadas para o Laboratório de Sedimentologia do Museu Paraense Emílio Goeldi (LASEDS/MPEG), onde foram submetidas a tratamento prévio (secagem e quarteamento) e análise granulométrica (peneiramento a seco e úmido).



Figura 13: Amostra sedimentológica acondicionada e identificada

### 5.3 LABORATÓRIO

#### 5.3.1 Análise Granulométrica

A metodologia aplicada ao processamento das amostras em laboratório envolveu alguns métodos tradicionalmente utilizados nos estudos sedimentológicos (análise granulométrica), cujos detalhes são facilmente encontrados na literatura especializada (MABESOONE, 1983; SUGUIO, 1973; etc...).

As amostras foram lavadas e encaminhadas à estufa para secagem à temperatura de 60°C, por 48 horas.

Após a secagem das amostras, foi realizada a desagregação em almofariz de porcelana e pistilo, com redução em volume através do método de quarteamento até ser adquirida a quantidade suficiente e representativa para a análise granulométrica.

As amostras foram separadas de acordo com a sua textura, para serem submetidas a peneiramento seco e via úmida. Das amostras selecionadas para peneiramento a seco foi retirada uma fração de 120 g, seguindo o método de quarteamento das amostras, onde foi despejada e homogeneizada sobre uma superfície e o montante dividido em quatro partes iguais, de onde foram coletadas alíquotas nos diferentes quadrantes. O peso quarteado foi obtido em balança analítica com precisão de duas casas decimais.

Das amostras com granulometria fina (conteúdo lamoso), retirou-se 50g que foram acondicionados em *becker* com água, as quais foram levadas a bacia de ultrassom por 5 minutos, para a total desagregação dos grãos. Em seguida, com o auxílio de uma peneira de 0,063mm e pisseta, fez-se o peneiramento à úmido, para separar a porção

silte/argila da porção arenosa. Após esse procedimento, as porções que continham silte e argila foram centrifugadas a 1.000 rotações por minuto, durante um período de 2 minutos, obtendo-se, ao final do processo, os pesos das frações de areia (retida na peneira de 0,062 mm), silte (decantado após a centrifugação) e argila (obtida através do cálculo: argila + areia + silte = 100% do peso inicial).

No peneiramento a seco foi obedecido o intervalo de 1  $\phi$  de Wentworth (1922) (tabela 04) entre as peneiras. As mesmas, em conjunto, foram submetidas à agitação em um peneirador automático (Figura 14) por 10 minutos.

Com base no percentual de cada fração granulométrica, foram calculados os parâmetros estatísticos de distribuição (mediana, média, grau de selecionamento, assimetria e curtose) e classificação textural, segundo Folk (1954). Para o processamento dos dados granulométricos foi utilizado o *software* SYSGRAN 3.0. (Camargo, 1999)



Figura 14: Peneirador vibratório e jogo de peneiras utilizadas para a separação por vibração mecânica, das classes granulométricas dos sedimentos arenosos.

Tabela 04 – Limites dimensionais e designações da classificação textural, segundo Wentworth (1922)

Classificação Textural		Escala (phi - $\phi$ )	Escala (mm)	
Português	Inglês			
<b>Bloco</b>	Boulder	-9	512	
		-8	256	
<b>Matacão</b>	Cobble	-7	128	
<b>Seixo</b>	Pebble	-6	64	
		-5	32	
		-4	16	
		-3	8	
		-2	4	
<b>Cascalho</b>	Granules	-1	2	
<b>Areia</b>	<b>Muito Grossa</b>	Very coarse sand	0	1
	<b>Grossa</b>	Coarse sand	1	0,500
	<b>Média</b>	Medium sand	2	0,250
	<b>Fina</b>	Fine sand	3	0,125
	<b>Muito Fina</b>	Very fine sand	4	0,0625
<b>Silte</b>	<b>Grosso</b>	Coarse silt	5	31 $\mu$ *
	<b>Médio</b>	Medium silt	6	15,6 $\mu$ *
	<b>Fino</b>	Fine silt	7	7,8 $\mu$ *
	<b>Muito Fino</b>	Very fine silt	8	3,9 $\mu$ *
<b>Argila</b>	<b>Grossa</b>	Coarse clay	9	2,0 $\mu$ *
		Medium clay	10	0,98 $\mu$ *
	<b>Média Fina</b>	Fine clay	11	0,49 $\mu$ *
		Very fine clay	12	0,24 $\mu$ *
<b>Colóide</b>	Colloid	13	0,12 $\mu$ *	

### 5.3.2 Análise de Minerais Pesados

A partir das frações obtidas pelo peneiramento, selecionaram-se para o presente estudo, as frações areia fina e areia muito fina, as quais serão tratadas nos resultados como fração Grossa (G) e Fina (F), respectivamente.

Estas frações foram escolhidas, baseando-se na literatura específica de mineralogia, por serem as frações granulométricas as quais concentram minerais pesados diagnósticos. (MANGEM & MAURER, 1992, MARTINS, 2007; NEVES *et al* 2008; MORTON & HALLSWORTH, 1999)

A partir do material obtido no peneiramento pesou-se, com o auxílio de balança manual, as frações granulométricas 0,250-0,125 mm e 0,125-0,062 mm para a preparação da lâminas de minerais pesados.

Os minerais pesados foram separados através da imersão em bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ) (Figura 15). Após a separação foram lavados com água destilada e levados à estufa ( $75^\circ$ ) e, em seguida, analisados em lupa binocular. Em caso de presença de película ferruginosa envolvendo os grãos, os sedimentos foram lavados com solução de ácido clorídrico diluído (10%) e submetidos à ação de ultra-som por 10 minutos. As lâminas foram montadas em meio de imersão de Bálsamo do Canadá ( $n=1,54$ ).

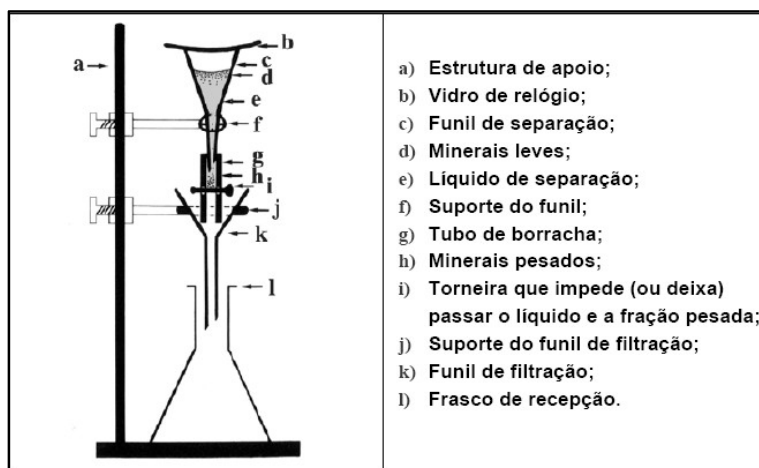


Figura 15: Esquema de separação de minerais pesados por líquido denso.

Fonte: Dias (2004).

Utilizou-se o separador eletromagnético *Isofrantz* para separar grupos de minerais magneticamente diferentes. (Figura 16 e 17)



Figura 16 e 17: Separador eletromagnético IsoFrantz e amostras subdivididas.

Para realizar a identificação dos minerais pesados foi utilizado um microscópio petrográfico ZEISS Axiolab. A contagem dos grãos, para estimar os percentuais dos diferentes minerais, foi realizada segundo o método *Line Counting* (GALEHOUSE, 1971) com a determinação do percentual dos minerais não-opacos, mediante a contagem de cerca de 100-150 grãos. Foram elaboradas tabelas e gráficos de frequências a partir dos percentuais de minerais pesados transparentes.

Para determinar os índices de frequência desses minerais, foram utilizados os seguintes termos: super abundante (> 50%); abundante (10-50%); comum (2-10%) e raro (0-2%) (COUTINHO & COIMBRA 1984).

#### 5.4 GABINETE

Para a elaboração da carta sedimentológica de fundo foi utilizado a metodologia de isotores, agrupados pelo método de interpolação por krigagem, no software Surfer 8.0.

A metodologia consiste no agrupamento de dados em planilha, ordenados por colunas da seguinte forma: X (latitude), Y(longitude) e Z (classificação textural). Os dados foram devidamente organizados em arquivo nos formatos .xls e .dat.

A partir das coordenadas geográficas dos pontos de coleta (obtidas com projeção Universal Transversa de Mercator - UTM) e dos valores assumidos pela variável (classificação textural) nesses pontos, foi gerado o mapa de distribuição espacial desta.

Para o processo de geração dos *grids* e do respectivo mapa de contorno derivado, foram efetivados testes com os interpoladores disponíveis no software Surfer 8.0, quais sejam: inverso da distância, krigagem, vizinho mais próximo, método de *Shepard*, regressão polinomial, função de base radial e triangulação com interpolação linear. O



objetivo dos testes foi, justamente, avaliar qual dos interpoladores retratava de forma mais confiável a distribuição dos sedimentos de fundo, de acordo com quantidade de dados (pontos de coleta) e a distribuição espacial dos mesmos. Assim, o método escolhido para a interpolação dos dados e para a geração do mapa de contorno foi Krigagem.

Para obtenção dos dados estatísticos e as classificações texturais de Folk, foi utilizado o software SYSGRAN 3.0.

A classificação textural de Folk (1954) foi escolhida em detrimento de outras classificações amplamente utilizadas em trabalhos sedimentológicos tais quais de Shepard (1954), Gorsline (1960), Nickless (1973), Reineck e Siefert (1980), Pejrup (1988) e Flemming (2000), devido agregar em sua classificação informações de percentuais de cascalho, areia e lama, granulometrias amplamente encontradas na área de estudo, oferecendo também, desta forma, informações sobre a dinâmica local.

A paleta de cores adotada para a representação cartográfica da distribuição de sedimentos foi a tons degradê de cinza e para a carta de distribuição de minerais pesados foi degradê em cinza. A cor das máscaras das áreas emersas obedeceu ao padrão utilizado nas cartas náuticas elaboradas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

O contorno da linha de costa foi digitalizado a partir de uma imagem de satélite SPOT 5.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER A. N. **Paisagens de exceção: O litoral e o pantanal mato-grossense: Patrimônios básicos.** São Paulo: Ateliê editorial. 2006.

AB'SÁBER A. N. **Amazônia do discurso a práxis.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2004

BAPTISTA NETO, J. A. et al. Introdução à geologia marinha. (ORG) Rio de Janeiro. Interciência. 2004

BERREDO, J.F.; MENDES, A.C.; SALES, M.E.C.; SARMENTO, J.P. Nível de Contaminação por óleo nos sedimentos de fundo e na água do rio Pará, decorrente do acidente com a balsa Miss Rondônia. In: PROST, M.T. **Ecosistemas costeiros: impactos e gestão ambiental**, Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001.

BOULHOSA, M. B. M. Morfologia, sedimentologia e índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na região portuária de Vila do Conde – Barcarena – PA. **Relatório do Programa de Capacitação Institucional- PCI/MPEG.** 2007.

CAMARGO, M. G. **SYSGRAN para Windows: Sistema de análises granulométricas.** Pontal do Sul, Paraná. 1999.

COSTA M.A.F.G (Coord.). 2008. Desenvolvido pelo Ministério dos transportes. CDP. (Apresenta textos sobre as Docas do Pará). Disponível em <<http://www.cdp.com.br/historicoViladoConde.aspx>> acesso em: 13 de dez. 2008

COUTINHO J. M. V. & COIMBRA, A. M. Os Pesados do Barreiras na Costa Oriental Brasileira: Estudo de Áreas-fonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28. 1974, Porto Alegre. **Anais do congresso brasileiro de Geologia.** Porto Alegre: SBG, v.5, p.27-41. 1974

COSTA, M. H., BOTTA, A; CARDILLE, J. A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, V. 283, I. 1-4, p. 206-217, 2003.

COSTA, M.L.; BEHLING, H.; BERRÊDO, J.F.; SIQUEIRA, N.V.M.. Mineralogical, Geochemical and Palynological Studies of Late Holocene Mangrove Sediments from Northeastern Para State, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 34 (4):479-488. 2004

CHEEL. R. J. **Introduction to Clastic Sedimentology.** Department of Earth Sciences. Notes for a University level. Brock University. 129 p. 2005

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

DIAS J. A. **Análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos.** Universidade de Algarve. 2004

FLEMMING, B.W. A Revised Textural Classification of Gravel-free Muddy Sediments on the Basis of Ternary Diagrams. **Continental Shelf Research**, 20:1125-1137. 2000

FOLK, R. L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. **Journal of Geology** 62: 344–359. 1954.

GALEHOUSE J. S. Sedimentation analysis. In: CAVER R. E. (ed.). **Procedures in sedimentary petrology**. New York: John Wiley & Sons. p. 69-94. 1971

GALVÃO M.V.G. **Evolução termodinâmica da Bacia do Marajó, Estado do Pará, Brasil**. (Dissertação de Mestrado) - Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto. 193 p. 1991

HUBERT, J. E. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. **Journal sedimentary petrology.**, 32: 440-450. 1962.

LANDIM, P. M. B., MONTEIRO, R. C. & CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer**. Geomatemática, Texto Didático 8, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 15 de maio de 2008.

LATRUBESSE, E; STEVAUX, J.C. Geomorphology and environmental aspects of Araguaia fluvial basin, Brazil. **Zeitschrift. Geomorphologie** 129, 109– 127. 2002

LIMA. W. N.; KOBAYASHI. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena, Pará. **Goechimica Brasiliensis**, v. 2, n. 1, p. 53 – 71, 1988.

LIMA, R R; TOURINHO, M. M; COSTA, J. P. C. **Várzeas fluvio-marinhas da Amazônia brasileira** – características e possibilidades agropecuárias. 2º edição. 2001.

MABESOONE J.M. **Sedimentologia**. 2ª ed. Recife. Universitária. 475p. 1983.

MANGEM A. & MAURER H, F. W. **Heavy Mineral in Colour**. London Chapman & Hall. 147 p. 1992.

MARTINS L. P. **Aplicação de minerais pesados no estudo da proveniência dos arenitos da formação São Mateus, bacia do Espírito Santo**. (Monografia de conclusão de curso). Faculdade de geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007

MARTINS, S. E. M. **Caracterização sedimentológica de fundo da área de influência do porto de Vila do Conde - margem Leste do rio Pará, Barcarena/PA**. (Monografia de conclusão de curso) 69 f. Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 2007 (a)

MARTINS, S. E. M. et al. Teor de Matéria Orgânica em sedimentos de fundo na área de influência do Porto de Vila do Conde, rio Pará, Barcarena/PA. **Resumo expandido**. Anais do XI Congresso Brasileiro de estudos do Quaternário – ABEQUA, 2007. (b)

MARTINS, S. E. M. ; MENDES, A. C. Hidrodinâmica da área de influência do porto de Vila do Conde, margem leste do rio Pará (Barcarena - Amazônia - Brasil) a partir do diagrama de Pejrup. **Resumo**. In: 44º Congresso Brasileiro de Geologia, 2008, Curitiba. 44º Congresso Brasileiro de Geologia livro de Resumos, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de recursos hídricos: Caderno regional da região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia. **Relatório final**. Brasília – DF. 2006

MIRANDA, L. B.; CASTRO FILHO, B. M. . On The Salt Transport In The Cananéia Sea During A Spring Tide Experiment. **Revista Brasileira de Oceanografia**, São Paulo, SP, v. 44, n. 2, 1996, p. 123-133.

MIRANDA L.B., CASTRO B.M., KJERFVE B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. Editora da Universidade de São Paulo, 2002. São Paulo, 411 p.

MORTON, A C. & HALLSWORTH, Processes controlling the composition of heavy minerals assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**, 124:3-29. 1999.

NASCIMENTO, M. S. **Minerais Pesados das Formações Ipixuna e Barreiras, região de Ipixuna, leste da sub-bacia de Cameté – NE do Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 86p. Dissertação (Mestrado). 2002.

NASCIMENTO M. S & GÓES A. M. Distribuição estratigráfica e proveniência de minerais pesados das Formações Ipixuna e Barreiras, Região do rio Capim, Sul da Sub-Bacia de Cameté. **Revista Brasileira de Geociências**, 35: 49-58. 2005.

NASCIMENTO M.S & GÓES A.M., Petrografia de arenitos e texturas de minerais pesados e quartzo: uma contribuição ao estudo da proveniência de depósitos albianos na borda sul da Bacia de São Luís–Grajau. Sociedade Brasileira de Geologia. **Simpósio de Geologia da Amazônia**, Belém, Pará, Brasil, vol. 9. 2006.

NEVES, P. C. P; SCHENATO, F; BACHI, F. A. **Introdução a mineralogia prática**. 2 ed. 336 p. Canoas: Ed. ULBRA, 2008.

PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: Boer,P.L.; van Gelder,A. & Nio,S.D.(Ed). **Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies**. D.Reidel, Dordrecht. p.289 – 300. 1988.

PEREIRA R. M. (ORG.). **Minerais em Grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação**. São Paulo: Oficina de textos. 2005

PETTIJOHN F.J.; POTTER P. E. & SIEVER, R.. **Sand and Sandstone**. Springer Study Edition Series.Ed. Springer. 2ª ed. 553p. 1987

PLANAVE S. A. **Estudo de Impacto Ambiental para a Implantação do Terminal Portuário Graneleiro de Barcarena- Pará.** 2005

REINECK, H. E. & SIEFERT, W.– Faktoren der Schlickbildung im Sahlenburger Watt und Neuwerker Watt. **Die Kuste**, 35:26-51. 1980

REMUS M. V. D; DE ROS L. F; DILLENBURG S; SPLENDOR F; NUNES, L. C. Aplicação da microsonda eletrônica na análise de proveniência: Granadas – traçadores de áreas fonte nas Bacias de Santos e Pelotas. In: DEZ ANOS DE MICROSSONDA EM PORTO ALEGRE. Porto Alegre, RS, 15 e 16 de Abril, 2004, **Atas**. p. 101-107. 2004.

ROSSETI, D. F. R. **Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão.** INPE, 2006

SEPOF. **Relatório de Estatística municipal: Barcarena. Secretaria Especial de Estado de Gestão e da Secretaria Executiva de Estado Planejamento Orçamento e Finanças.** Governo do Pará. p. 40. 2005.

SHEPARD, F.P. - Nomenclature based on sand - silt - clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, 24:151-158.1954

SOARES JR., A. V. **Paleogeografia e evolução da paisagem do nordeste do estado do Pará e noroeste do Maranhão – Cretáceo ao Holoceno.** Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 115 p. 2002

SUGUIO, K. **Introdução a sedimentologia.** São Paulo. Edgard Blucker, 342p. 1973.

TRANCOSO, R. **Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta para o diagnóstico e gestão de macrobacias no arco do desmatamento na Amazônia.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2405-2412. 2005

WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, 30: 377- 392. 1922



## **Capítulo II**

**GEOMORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DE DEPÓSITOS RECENTES  
DA PORÇÃO SUPERIOR DA BAIJA DE MARAJÓ, ÁREA DE INFLUÊNCIA DO  
PORTO DE VILA DO CONDE, BARCARENA – PA.**

**GEOMORPHOLOGY AND SEDIMENTOLOGY OF RECENT DEPOSITS ON  
UPPER PORTION OF MARAJÓ BAY, INFLUENCE AREA OF VILA DO  
CONDE PORT, BARCARENA - PA.**

*Silvio Eduardo Matos Martins<sup>\*a</sup>; Amilcar Carvalho Mendes<sup>b</sup> & Iran Carlos Stalliviere*

*Corrêa<sup>a</sup>*

*<sup>a</sup> Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Av. Bento Gonçalves, 9500 Caixa Postal 15.001, 91501-970 - Bloco 43.12- Porto Alegre,  
Brasil.*

*\*e-mail: [silvio\\_matos@yahoo.com.br](mailto:silvio_matos@yahoo.com.br)*

*<sup>b</sup> Museu Paraense Emílio Goeldi, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia,  
Av. Perimetral, 1901, 66040-170, Belém, Brasil.*

## SUMÁRIO

### **Introdução**

Área de estudo

Geologia do Nordeste Paraense (baía de Marajó e rio Pará).

### **Metodologia**

#### **Apresentação de dados, resultados e discussão**

Geomorfologia de fundo

Sedimentologia e mineralogia

### **Considerações finais**

### **Referências Bibliográficas**

### **Resumo**

O artigo visa caracterizar os depósitos sedimentares superficiais da planície arenosa de maré e de fundo/canal da porção superior da baía de Marajó, na área de influência do porto de Vila do Conde. Foram estudadas a geomorfologia, distribuição sedimentar e assembléia mineralógica de fundo, com ênfase nos minerais pesados. Os sedimentos foram classificados em nove classes texturais. A granulometria variou de Argila à matacão. Os principais minerais pesados que ocorrem nos depósitos superficiais são: zircão, estauroлита, turmalina, cianita, granada e rutilo. As feições geomorfológicas do curso fluvial estudado puderam ser descritas quanto suas formas, profundidades e composições sedimentares. A distribuição sedimentológica apresenta estreita relação com a morfologia e, sobretudo, evidencia as características de alta hidrodinâmica para esta área. Os sedimentos nas planícies de maré arenosas, localmente denominadas de “praias” de uma forma geral, ocorrem pela deposição de material arenoso fino, mal selecionado. Tais áreas, continuamente, recebem sedimento, de origem terciária, devido à proximidade com os afloramentos do grupo Barreiras.

Palavras-chave: Sedimentologia, Geomorfologia, Mineralogia, sedimentos recentes.



**Abstract**

The paper aims to characterize the bottom sediments deposits of the tidal sandy plain and bottom/channel of the upper portion Marajó Bay, in area of the port of Vila do Conde. Geomorphology, sediment distribution and mineralogical assembly background, with emphasis on heavy minerals were studied. The sediments were classified into nine textural classes. The particle size ranged from clay to boulder. The main heavy minerals that occur in the superficial deposits are zircon, staurolite, tourmaline, kyanite, garnet and rutile. The geomorphological features of the studied river course could be described as their shapes, depths and sedimentary compositions. Features of sedimentological distribution are closely related to the morphology and, especially, highlights high hydrodynamics for this area. The sediments in sandy tidal flats, locally called "beaches" in general, occur by the deposition of fine sandy material, poorly selected. Such areas continuously receive sediment of Tertiary origin, due to the proximity of the outcrops of the Barriers group.

Keywords: Sedimentology, Geomorphology, Mineralogy, recent sediments.

## INTRODUÇÃO

Entende-se como rio Pará, um conjunto hidrográfico, formado por inúmeros rios cujas águas nele desembocam, dando origem a uma sucessão de baías e enseadas que se estendem ao longo de toda costa sul da ilha de Marajó e o continente, iniciando a baía de Marajó. O rio Pará, possui mais de 300 km de extensão e cerca de 20 km de largura média. (Lima et al., 2001)

O entendimento a cerca da distribuição superficial de sedimentos de fundo em ambientes costeiros têm importante papel em diversas áreas, seja para o planejamento de canais de acesso a terminais portuários e marinas, seja para entender o substrato e os organismos existentes naquela região.

A análise do tamanho das partículas dos sedimentos pode indicar o comportamento do agente deposicional relacionado aos respectivos níveis de energia, tornando-se essencial para o entendimento do ambiente, além de fornecer importantes informações acerca da micro e macrofauna bentônica. (Boulhosa, 2007)

Segundo Martins (2007a), estudos deste cunho são pouco realizados na região estudada. A relevância da análise está na apresentação das atuais características sedimentares da área submersa do porto de Vila do Conde e futuras comparações com suas eventuais modificações, mudanças estas relacionadas a variantes naturais e/ou de cunho antropogênico, em vista das recorrentes atividades industriais e portuárias na área.

O presente trabalho visa caracterizar os depósitos sedimentares superficiais da planície arenosa de maré e de fundo da porção superior da baía de Marajó, na área de influencia do porto de Vila do Conde. Sendo levadas em considerações a geomorfologia, distribuição sedimentar e assembléia mineralógica de fundo, com ênfase nos minerais pesados.

## ÁREA DE ESTUDO

O setor do rio Pará, entre a região de Belém e a costa sul-sudeste da ilha de Marajó, consiste em um estuário que se inicia na baía das Bocas (delta de Boiuçu/Breves), prossegue pelo chamado rio Pará, áreas em que recebe toda a massa de águas do rio Tocantins passando à alongada boca do complexo estuarino terminal, sob o nome de baía de Marajó. (Ab'saber, 2006).

A área abrangida pelo estudo está situada entre os paralelos 1°17'S e 1°40'S e os meridianos 48°49'W e 48°33'W (Figura 01).

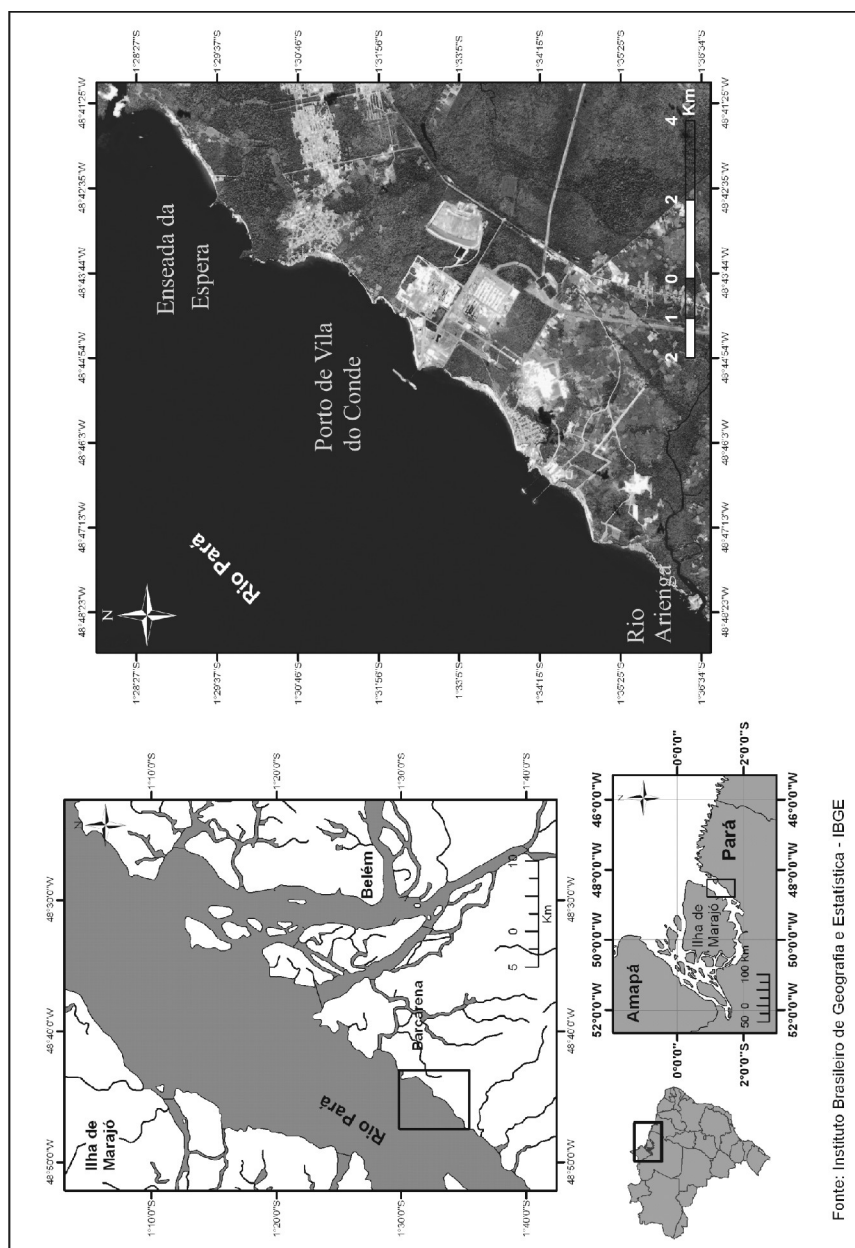


Figura 01: Localização da área de estudo. Baseada em Imagem Spot 5.

### Geologia do Nordeste Paraense (baía de Marajó e rio Pará).

Localizada no norte do Brasil, a bacia de Marajó é também conhecida como um complexo geológico denominado de “Sistema de *rift* do Marajó” (Galvão, 1991). Este *rift* possui como limites a Bacia do Amazonas a sul, Bacia de São Luís-Grajaú a leste e as plataformas do Pará e Bragantina a nordeste (Nascimento, 2002). A geologia é constituída por sedimentos do

Terciário (Formação Barreiras) e do Quaternário. Os primeiros estão presentes, sobretudo, na porção continental do Município de Barcarena, enquanto trechos Quaternários ocorrem nas margens dos rios, constituindo a porção insular do Município (SEPOF, 2005).

O golfo Marajoara (anteriormente à formação dos depósitos pleistocênicos que iriam dar origem ao nível Belém-Marajó), se manteve ativo por quase todo o Pleistoceno médio e superior, servindo de largo funil para os afogamentos eustáticos da calha inferior e média do Amazonas da época. Tais fatos respondem, pelo menos parcialmente, pelo represamento de águas e espessamento rápido da pilha de sedimentos aluviais pleistocênicos e holocênicos, até mais de 1000 km para o interior.

A formação Barreiras, devido à complexidade litológica de seus sedimentos – lacustres, fluviais e fluvio-lacustres – pode ter seus membros ou lentes de areias expostas em tabuleiros ou em interflúvios de baixos platôs. (Ab'saber, 2004)

## **METODOLOGIA**

A malha de amostragem foi projetada com base na carta batimétrica e na morfologia de fundo. Visando a maior representatividade, foi elaborada uma malha de amostragem composta por 254 pontos de coleta (Figura 02), com coordenadas geográficas obtidas em imagem SPOT 5, devidamente georeferenciadas. Os dados batimétricos cedidos pela Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental (AHIMOR) foram convertidos em tabelas para a confecção de *grid's* e contornos de superfície, através do *software Surfer 8.0*. (Landim et al., 2002)

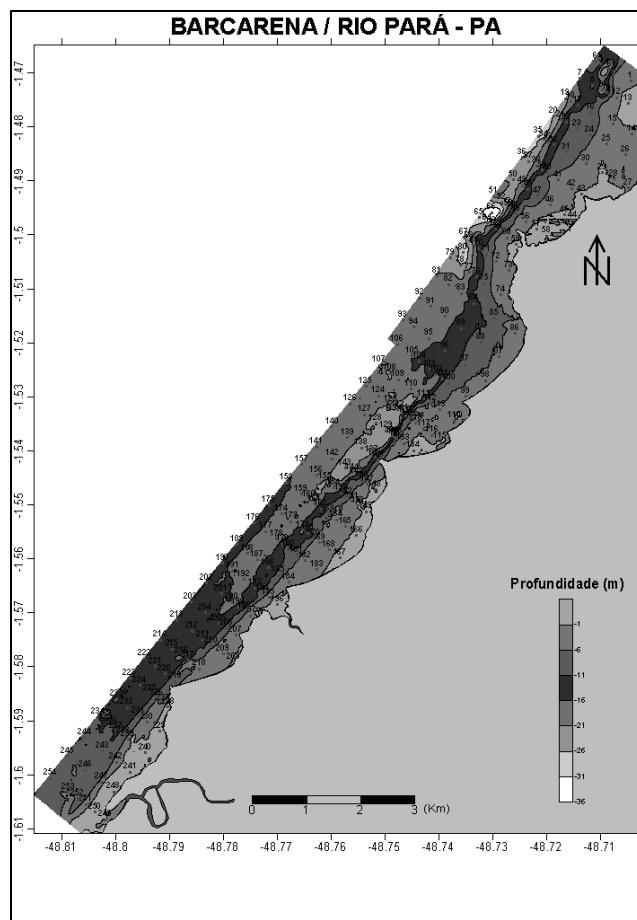


Figura 02: Malha de amostragem dos sedimentos de fundo.

Para a coleta de sedimentos foi utilizado o amostrador de fundo tipo Petersen (Figura 3A), operado de forma manual ou com o auxílio de um guincho elétrico (Figura 3B).

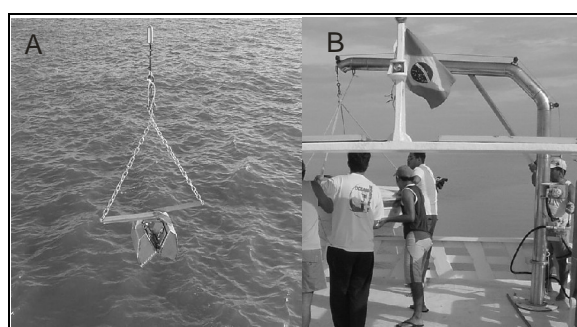


Figura 03: (A) Amostrador de fundo tipo Petersen; (B) Guincho elétrico utilizado para lançamento de amostrador.

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Sedimentologia do Museu Paraense Emílio Goeldi (LASEDS/MPEG), onde foram submetidas a tratamento prévio (secagem e quarteamento) e análise granulométrica (peneiramento a seco e úmido). As amostras de minerais pesados foram obtidas e identificadas no Laboratório de

Sedimentologia do CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

A metodologia aplicada ao processamento das amostras em laboratório envolveu alguns métodos tradicionalmente utilizados nos estudos sedimentológicos (análise granulométrica) e mineralogia de pesados, cujos detalhes são facilmente encontrados na literatura especializada (Mabesoone, 1983; Suguio, 1973; Neves, et al., 2008).

No peneiramento a seco foi obedecido o intervalo de 1  $\phi$  entre as peneiras. Com base no percentual de cada fração granulométrica, foram calculados os parâmetros estatísticos de distribuição (mediana, média, grau de selecionamento, assimetria e curtose) e classificação textural de Folk (1954). Para o processamento dos dados granulométricos foi utilizado o *software* Sysgran 3.0. (Camargo, 1999)

As diversas etapas seguidas para o desenvolvimento dos trabalhos em laboratório acham-se esquematizadas na figura 04.

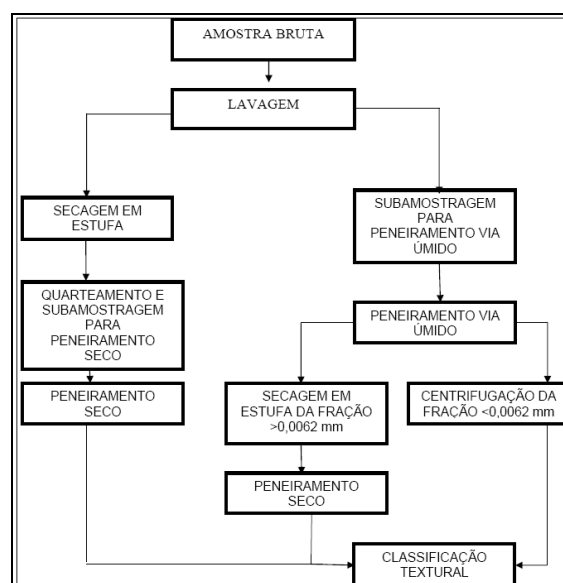


Figura 04: Fluxograma das atividades executadas no desenvolvimento das atividades de laboratório.

Para a elaboração da carta sedimentológica e geomorfológica foi utilizada metodologia de isoteores, agrupados pelo método da krigagem, mediante a utilização do *software* *Surfer 8.0*. (Landim et al., 2002)

## APRESENTAÇÃO DE DADOS, RESULTADOS E DISCUSSÃO

### GEOMORFOLOGIA DE FUNDO:

Baseado nos dados de profundidade foi confeccionada a carta batimétrica e o bloco diagrama representativo da morfologia de fundo, a partir dos quais as análises de formas de fundo e da margem puderam ser descritas e analisadas a seguir. (Figura 05)

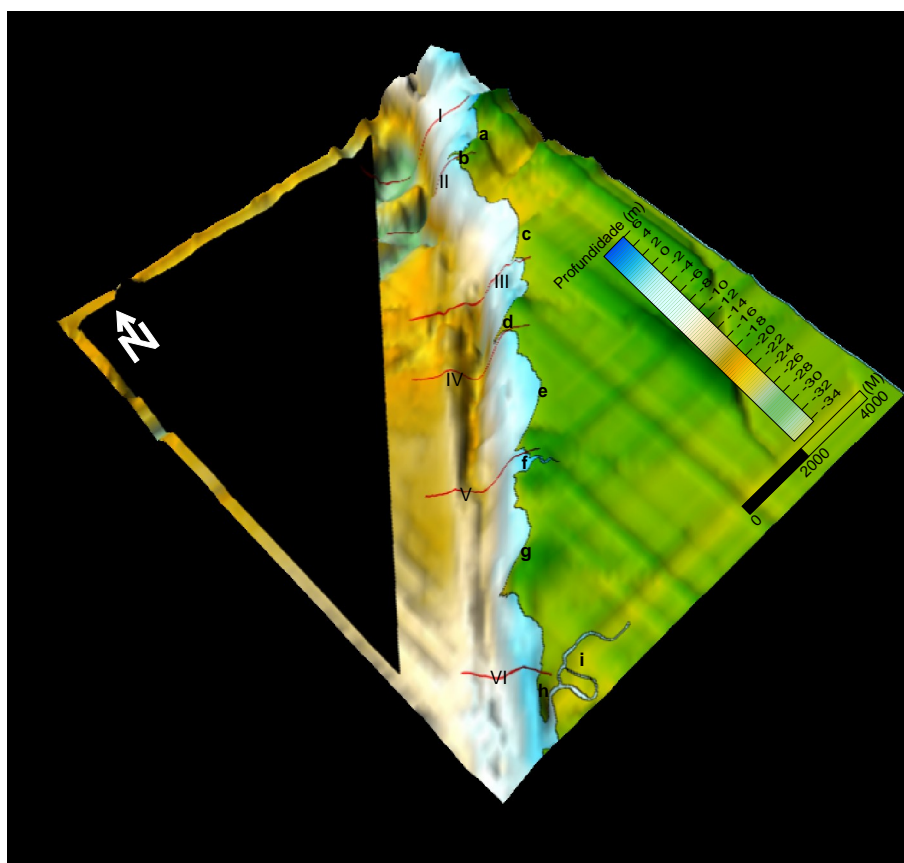


Figura 05: Bloco diagrama de morfologia de fundo. (a: enseada da Espera; b: ponta do Miritizal; c: Praia Guajará de Itupanema; d: Porto de Vila do Conde; e: Praia do Conde; f: Igarapé Curupurú, Ymeris Rio Caulim S/A e Pará Pigmentos; g: Praia de Beja; h: ponta do Arienga; i: rio Arienga; I – VI: Perfis Morfológicos)

#### **Enseada da Espera:**

A enseada da Espera é uma forma costeira com 1,5 km de comprimento de baixa declividade e profundidade variando de -1 á -5m, estando delimitada por promontórios lateríticos. Ao norte desta se encontra a praia do Caripí. (Figura 05)

#### **Depressão da Espera:**

A depressão da espera é a porção mais profunda da área estudada com cerca de -36m de profundidade. Possui forma semi-circular e aproximadamente 0,25 km<sup>2</sup> de área. Esta forma de fundo se encontra a oeste da enseada da Espera. (Figura 05)

O Perfil I apresenta em sua parte mais profunda a depressão da Espera onde alcança cota de -36 m variando progressivamente em direção a margem, até a porção laterítica rasa e emersa em período de maré baixa, nas proximidades da enseada da Espera. (Figura 06)

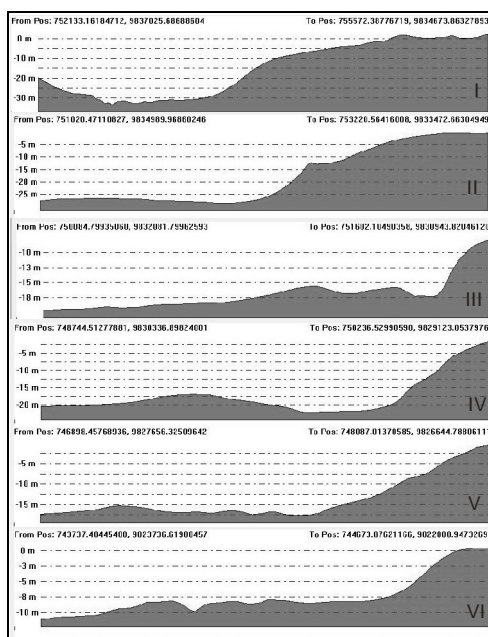


Figura 06: Perfis Batimétricos; Perfil I: Depressão da Espera; Perfil II: ponta do Miritizal; Perfil III: canal 1; Perfil IV: canal 2; Perfil V: canal 3 e Perfil VI: ponta do Arienga.

### **Ponta do Miritizal:**

A ponta do Miritizal é uma forma costeira erosiva com cerca de 300 m de comprimento. Estende-se perpendicularmente a linha de costa, sendo composta principalmente pela fácies laterítica da formação Barreiras. (Figura 05)

O perfil II foi sitiado próximo a este promontório. Este perfil se inicia em profundidades médias de - 25m e apresenta declividade acentuada até a porção emersa, onde também se pode observar a presença do perfil laterítico. (Figura 06)

### **Canal:**

O canal possui forma retilínea com cerca de 8 km de comprimento, uma média de 0,5km de largura e profundidade que varia de -15 a -27 m. Este se estende da porção sul da ponta do Miritizal aos terminais da Ymeris Rio Caulim S/A e Pará Pigmentos. O canal Principal possui cerca de 4 km de comprimento se estende do porto de Vila do Conde aos terminais Ymeris Rio Caulim S/A e Pará Pigmentos. Possui profundidade média de -25 m e largura média de aproximadamente 1 km. (Figura 05)



O perfil III mostra o final do canal principal passando relativamente próximo da margem, iniciando em cota batimétrica de - 18m e aproximando-se da margem com declividade elevada. (Figura 06)

O perfil IV mostra a área do canal em frente ao porto de Vila do Conde, onde se inicia com profundidades que variam de -20 a -27m até se aproximar da cota batimétrica 0, em frente a área portuária. (Figura 06)

Diferentemente dos anteriores o perfil V, que também mostra o canal, apresenta dados menos profundos, sendo o início do canal principal. No entanto apesar da diferença batimétrica relacionada aos 2 perfis anteriormente descritos, está área ainda possui vocação portuária, comportando 2 terminais portuários de empresas locadas no município de Barcarena. (Figura 06)

#### **Planície arenosa de maré:**

As planícies arenosas de maré são áreas arenosas de baixa declividade próximas as margens, popularmente chamadas de Praias, tais quais as praias de Caripi, Conde, Beja, Itupanema, dentre outras. As planícies podem ser observadas por toda a margem estudada, sendo estas mais largas na porção nordeste da área, onde podem alcançar média de 1,5 km de largura. Na porção sudoeste as planícies se apresentam com larguras inferiores se comparadas à área anteriormente citada, sendo de menos de 0,7km de largura. (Figura 05)

#### **Banco na confluência do rio Arienga:**

O banco formado na confluência do rio Arienga com o rio Pará possui cerca de 3km de comprimento e 500m de largura média, com profundidades variando de 0 a -5m, apresentando-se de forma paralela á ponta do Arienga, feição fluvial formada pela drenagem do rio anteriormente citado, florestada por vegetação típica de áreas de várzea. (Figura 05)

O perfil VI apresenta a variação de profundidade na área de influência do banco formado paralelo a margem. (Figura 06).

### **SEDIMENTOLOGIA E MINERALOGIA**

O tamanho granulométrico dos sedimentos superficiais de fundo, no trecho estudado, varia desde argila a areia muito grossa com cascalho. Os valores de diâmetro médio dos sedimentos e a profundidade variam transversalmente à margem. Porções profundas e arenosas, de granulometria grossa ocorrem predominantemente nas regiões distais à margem, sob condição de alta energia hidrodinâmica.

Segundo a classificação textural de Folk (1954), os sedimentos são predominantemente arenosos, subdivididos em nove classes texturais, a saber: a) cascalho arenoso; b) areia com cascalho; c) areia; d) areia siltosa; e) areia lamosa com cascalho; f) lama arenosa com cascalho; g) lama com cascalho esparsos; h) silte arenoso e i) silte. O predomínio, em termos de distribuição espacial, é de areia com cascalho e areia. (Figura 07)

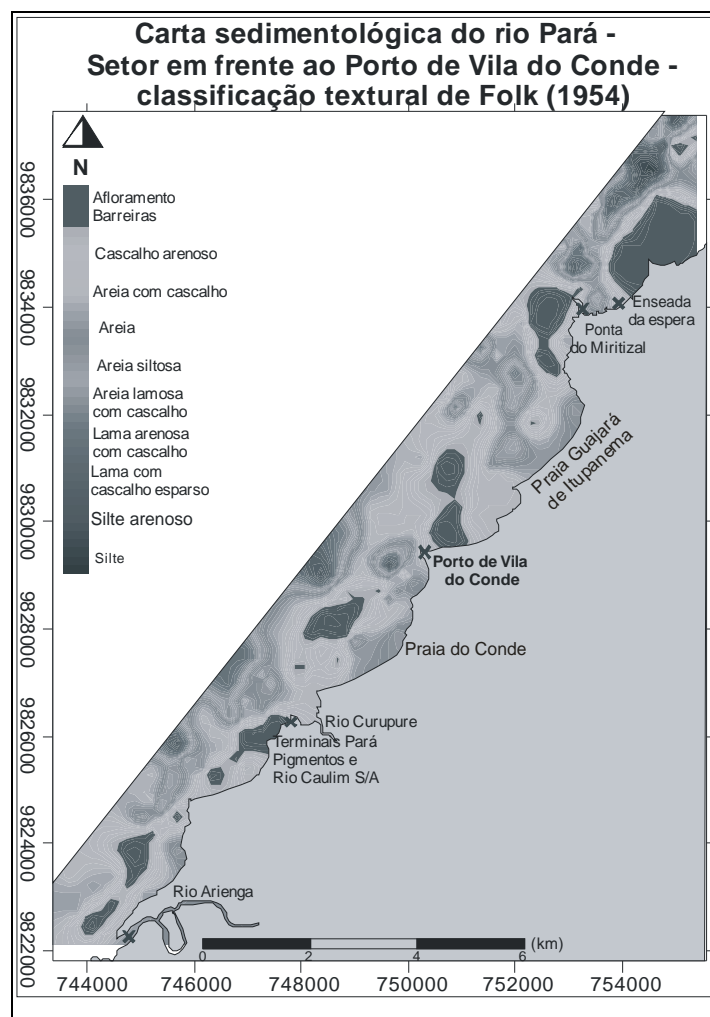


Figura 07: Mapa de distribuição de sedimentos de fundo na área estudada, segundo a Classificação de Folk (1954).

De forma geral, o canal apresenta sedimentos variando de areia siltosa a cascalho arenoso, sendo moderadamente selecionado com assimetria negativa. As areias médias, grossas e muito grossas com cascalho, mal selecionadas, ocorrem no leito do canal de acesso ao porto de Vila do Conde (Figura. 07). O canal principal, localizado em frente ao píer do porto de Vila do Conde, apresenta sedimentos variando de areia a cascalho arenoso, pobremente selecionado, com assimetria muito negativa.

Ainda no canal foram coletadas amostras de seixos e matacões lateríticos recobertos de tubos de organismos bentônicos, além de concreções lateríticas. (Figura 08 e 09)



Figura 08: Seixos e matacões lateríticos recobertos por tubos de poliquetas amostrados em áreas de canal.



Figura 09: Concreção laterítica coletada em amostra de canal.

As areias que ocorrem no leito do canal de acesso ao porto de Vila do Conde, caracterizam o setor como de alta energia hidrodinâmica, responsável pela remoção das areias mais finas e sedimentos lamosos para áreas adjacentes. Segundo Souza (2006), nesses locais as correntes podem atingir velocidade de até 1,24 m/s. Outros setores de deposição de sedimentos grossos correspondem às margens do rio, onde os depósitos estão associados ao input sedimentar decorrente da ação erosiva em áreas de afloramento (“barrancos”), em um sistema de “terras caídas”, ocorrente nos sedimentos do Grupo Barreiras. Foram observadas nas áreas de canal e na planície arenosa de maré, minerais pesados arredondados e muito arredondados reafirmando o alto grau de retrabalhamento dos grãos. (Tabela 01)

Tabela 01: Correlação das unidades morfológicas de fundo e o sedimento que as compõe.

<b>Unidades morfológicas</b>	<b>Classificação Textural de Folk (1954)</b>	<b>Minerais pesados</b>
<b>Canal</b>	Areia a cascalho arenoso, pobremente selecionado	Zircão arredondado e bem arredondado, Turmalina (FG) prismáticas, arredondadas e sub-arredondada, Cianita (FF), Rutilo sub-angular e Granada sub-angular e sub-arredondada.
<b>Barra arenosa na foz do rio Arienga</b>	Areia média, moderadamente bem selecionada	Zircão, Turmalina, Estauroлита, Cianita, Rutilo (FG).
<b>Unidades de baixa declividade às margens – Planícies arenosas – “praias”</b>	Areia siltosa à areia, sendo moderadamente selecionada	Zircão arredondado e bem arredondado, Turmalina prismática e sub-angular, Estauroлита angular e sub-angular, Cianita, Granada (FF) sub-arredondada e arredondada.
<b>Depressão da Espera</b>	Silte, silte arenoso, lama com cascalho e lama arenosa	Zircão, Turmalina e Rutilo.

O estudo dos minerais pesados não opacos, presentes nos sedimentos de fundo do rio Pará, indicou que os principais minerais que ocorrem nesses sedimentos estão representados por zircão, nas cores: incolor, vermelho, vermelho terroso, amarelo, amarelo terroso, rosa e marrom, com forma arredondada, sub-arredondada, sub-édrica, prismática com faces cristalinas bem definidas e fragmentos angulosos; estauroлита com forma irregular e angulosa nas cores amarelo-alaranjado e amarelo-claro; turmalina verde-azulada, verde, marrom esverdeada e marrom, com forma arredondada, sub-arredondada e euédrica prismática; cianita incolor com inclusões férricas, com forma tabular alongada e achatada; rutilo de cor vermelho, amarelo com forma arredondada e angulosa.

A análise dos minerais pesados revelou a ocorrência de mais de 20 tipos de minerais transparentes nos sedimentos de fundo e planície. É necessário ressaltar que não se inclui nos objetivos específicos deste trabalho o estudo dos minerais opacos. (Tabela 01)

Observa-se que na área da depressão da Espera, ocorre uma concentração dos minerais rutilo, zircão e turmalina. (Tabela 01)

Nos depósitos relacionados a padrões hidrodinâmicos de pouca energia, como na porção ao norte da ponta do Miritizal, há predomínio de sedimentos de granulometria silte e argila. Esta área correlaciona-se a região em que um promontório pode causar a diminuição nos níveis de corrente, facilitando a deposição de material pelítico.

A barra arenosa, presente nas proximidades da desembocadura do rio Arienga, é composta por sedimentos formados por areia média, moderadamente bem selecionada, com assimetria variando de aproximadamente simétrica à positiva.

As áreas de baixa declividade, planícies arenosas de maré, nas proximidades da margem, chamadas popularmente de “praias” (Vila do Conde, Beja, Itupanema, entre outras), apresentam sedimentos variando de areia siltosa à areia, sendo moderadamente selecionada e com assimetria variando de aproximadamente simétrica à negativa (Figura 10).

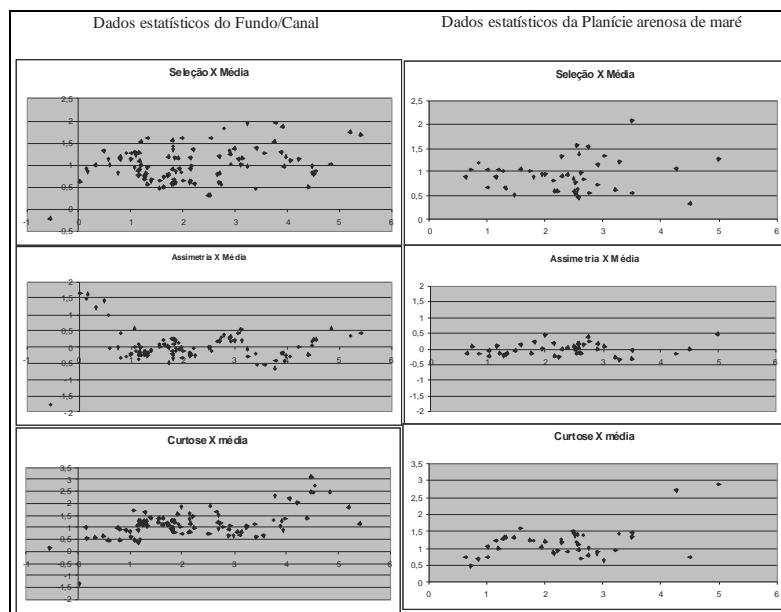


Figura 10: Dados geoestatísticos.

A classificação textural oferecida por medidas de tendência central como a mediana, média e a moda servem para distinguir a intensidade do agente de transporte e/ou os níveis energéticos do ambiente deposicional.

O grau de seleção, por outro lado, expressa a maior ou menor concentração de partículas em torno da média; frequentemente estas medidas traduzem a constância ou a

irregularidade dos níveis energéticos. A assimetria tende a mostrar o enriquecimento da população granulométrica em finos ou grossos. Segundo Cronan (1972), os valores de assimetria negativa indicam ambientes com um regime erosivo ou de não deposição e os valores de assimetria positiva estão relacionados à ambientes com regimes deposicionais.

A barra arenosa composta por sedimentos arenosos moderadamente bem selecionados, localizada próximo a desembocadura do rio Arienga, é mantida pela barreira hídrica representada pelas águas do rio Pará, que retém a descarga sedimentar deste rio, formando um cone de sombra e deposição local, devido à diminuição da capacidade de transporte de sedimentos.

O grau de seleção dos sedimentos da área de baixa declividade nas margens, notadamente as áreas de “praias”, representa a manutenção do processo erosivo de material mal selecionado do Grupo Barreiras adjacente.

Os histogramas de distribuição granulométrica apresentam clara diferença quanto às diferenças de amostras de fundo/canal e as de planície. Os histogramas das amostras de fundo apresentam maiores percentuais de grãos com tamanho de areia média e areia fina com relativo enriquecimento de grãos grossos. O enriquecimento de grossos pode apresentar, em alguns casos, bimodalidade granulométrica, a qual segundo a classificação textural de Folk (1954) atesta a presença de areias com cascalho. (Figura 11).

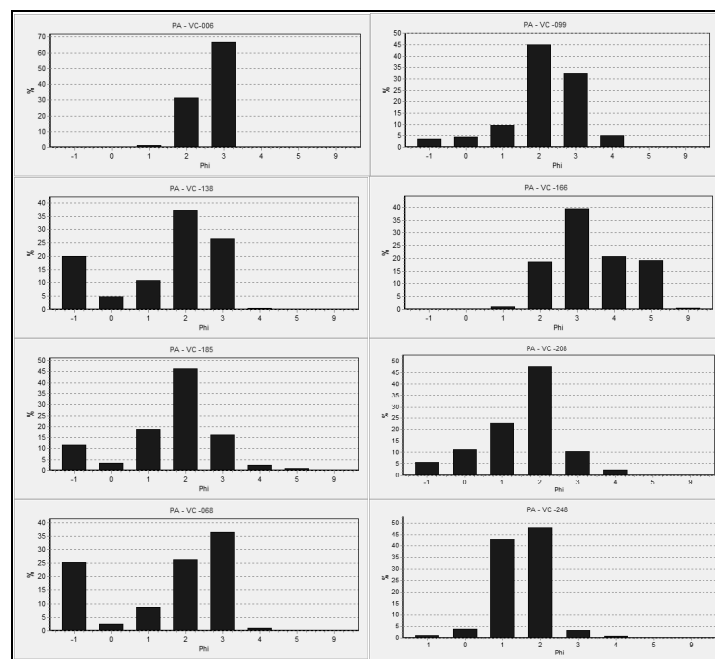


Figura 11: Histogramas de distribuição granulométrica para amostras de fundo e planície. Na coluna da esquerda, amostras de Fundo/canal (PA -006: Extremo norte, PA -068: depressão da Espera, PA -138: Canal de porto de Vila do Conde, PA -185: canal de Terminais Pará Pigmentos e Ymeris S/A); Na coluna direita amostras de planície (PA -099: Praia de Itupanema, PA -166: Praia do Conde, PA -208: Praia de Beja, PA -248: Barra arenosa do Arienga)

Por outro lado, os histogramas de distribuição de amostras de planície se apresentam de outra forma, caracterizando um enriquecimento de grãos finos, mas apresentando ainda, uma média de grãos de areia média à fina. Pode-se notar diferenças quanto à amostra PA- 248 de planície, onde o histograma apresentou principalmente areia média e grossa.

As amostras da praia de Itupanema e de Beja apresentaram distribuição correlata, se diferenciando da amostra da praia de Conde a qual mostrou o maior percentual de grãos finos, sendo correlata, com a classificação textural de silte arenoso. (Figura 11).

As areias finas a muito finas, lamas e siltes, encontradas em setores marginais, como as planícies arenosas de maré, nas praias de Conde, Beja, Itupanema, são depósitos relacionados a padrões hidrodinâmicos de energia mais baixa (se relacionados a outras áreas como as de canal), como a porção ao norte da ponta do Miritizal, onde se localiza a desembocadura do Furo do Arrozal. Estas áreas apresentam sedimentos oriundos da erosão das margens, formadas pelos afloramentos do grupo Barreiras.

O padrão de distribuição de afloramentos lateríticos do grupo Barreiras, no leito do rio, representa a constante retirada dos sedimentos que antes os cobriam, permitindo o afloramento de um horizonte laterítico, o qual representa um antigo limite de lençol freático. Tais afloramentos lateríticos em algumas porções, como na “Pedra do Meio”,

representam ilhas–testemunho as quais podem indicar uma antiga localização da margem direita do rio Pará.

Martins (2007a; 2008) utilizando a classificação de Pejrup (1988) classificou a margem direita do rio Pará como sob influência de hidrodinâmica alta a muito alta, explicando de forma coerente a dominância de sedimentos de maior granulometria.

Corrêa (2005) inferiu a hidrodinâmica da Baía de Marajó através da aplicação do Diagrama de Pejrup. Seus resultados atestam que a porção leste da baía de Marajó, mais precisamente no setor que vai da ilha de Trambioca (ao norte do município de Barcarena) até a desembocadura da baía, foi caracterizado como pertencente ao campo IIC do diagrama de Pejrup, representando ambiente de alta hidrodinâmica.

Dados semelhantes de hidrodinâmica foram encontrados por Gregório et al (2007) para a área da baía de Guajará, localizada mais ao norte da área estudada. Segundo este estudo, também baseado na análise de diagrama de Pejrup, a baía de Guajará foi classificada como sob influência de hidrodinâmica alta a muito alta com uma circulação estuarina bastante significativa.

Os pequenos, porém notáveis, aumentos nos percentuais de silte e argila, observado no sentido de SW para NE, são favorecidos por áreas de quebra de energia, ou seja, locais protegidos que facilitam a sedimentação de material pelítico. Locais como esses, podem ser observados ao norte da ponta do Miritizal, na enseada da Espera e ao sul da praia Guajará de Itupanema.

Outro fator que influencia o aumento do percentual do material fino é a contribuição de “Igarapés”, como o Ingaiteua, localizado entre as pontas do Miritizal e do Taquã, na enseada da Espera, os quais drenam as áreas de suas várzeas.

Por toda a área foram registradas ocorrências de sedimentos areno-argilosos não consolidados e afloramentos de blocos lateríticos, sobretudo em setores mais próximos à margem direita e ao longo do canal (Figura 12a, b).

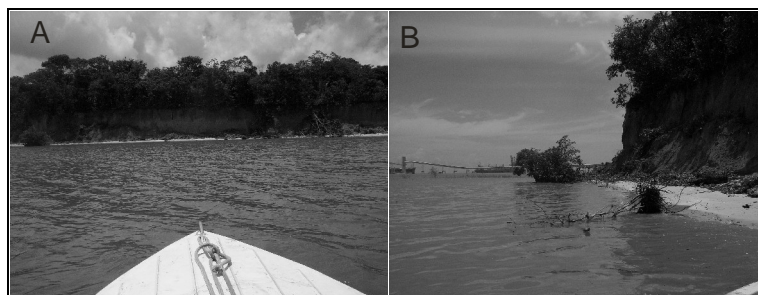


Figura 12: (A) Vista geral do barranco da formação Barreiras; (B) Ação erosiva nos barrancos da margem do rio Pará.



Martins et al, (2007b) definiram que a porção norte da depressão de espera concentra as maiores percentagens de matéria orgânica. Esta concentração está intimamente relacionada aos sedimentos lamosos que apresentam maior capacidade de adsorção deste material. Esta contribuição de matéria orgânica está relacionada, principalmente, ao aporte local de material de origem vegetal das áreas de várzea e, secundariamente, ao aporte de detritos orgânicos provenientes da área urbana de Vila dos Cabanos.

---

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sedimentos na área estudada podem ser subdivididos em nove classes texturais, a saber: cascalho arenoso, areia com cascalho, areia, areia siltosa, areia lamosa com cascalho, lama arenosa com cascalho, lama com cascalho esparso, silte arenoso e silte.

Os principais minerais pesados que ocorrem nos depósitos superficiais são: zircão, estauroлита, turmalina, cianita, granada e rutilo. A concentração de minerais ultra-estáveis na região da depressão da espera indica que estes sedimentos passaram por um elevado número de processos geológicos, tais quais intemperismo físico, químico e seleção por correntes de fundo. As feições geomorfológicas do curso fluvial estudado aliada à ação de forçantes hidrodinâmicas explicam a distribuição e predominância das classes texturais predominantemente arenosos e matações oriundos da fácies rochosa do grupo Barreiras, sobretudo nos trechos de canal.

A distribuição sedimentológica apresenta estreita relação com a morfologia de fundo e, sobretudo, evidencia as características de alta hidrodinâmica para esta área. A maioria de grãos arredondados e bem arredondados indica uma fonte primária distante e coerente com a dinâmica local. Os sedimentos nas planícies de maré arenosas, localmente denominadas de “praias” de uma forma geral, ocorrem pela deposição de material arenoso fino, mal selecionado. Tais áreas, continuamente, recebem sedimento, de origem terciária, devido à proximidade com os afloramentos do grupo Barreiras, podendo ser bem evidenciado nas “praias” de Vila do Conde, Beja e Guajará de Itupanema.

Na porção extremo-sul da área estudada, o fluxo do rio Arienga, no encontro com o rio Pará, na porção superior da baía de Marajó, sofre uma redução de velocidade, podendo ser observada na deposição da barra arenosa formando um cone de deposição local, devido à diminuição da capacidade de transporte de sedimentos pelo rio Arienga.

---

A relevância da análise está na apresentação das atuais características sedimentológicas, mineralógicas e geomorfológicas da área submersa do porto de Vila do Conde para futuras comparações com eventuais modificações, mudanças estas relacionadas com variantes naturais e/ou de cunho antropogênico, visto as recorrentes atividades industriais e portuárias na área.

---

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Projeto PIATAM –MAR II, à CAPES por disponibilizar bolsa ao primeiro autor, ao Museu Paraense Emílio Goeldi, por disponibilizar seus laboratórios e aos pesquisadores Cléa Silva, Francisco Berrêdo, Odete Silveira, Messiana Boulhosa, Aderson Gregório, Murilo Mota, Paulo Tadeu e Wilton Júnior. E ao CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - UFRGS) pelo apoio técnico e científico.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER A. N. **Paisagens de exceção: O litoral e o pantanal mato-grossense: Patrimônios básicos.** São Paulo: Ateliê editorial. 2006.

AB'SÁBER A. N. **Amazônia do discurso a práxis.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2004

BOULHOSA, M. B. M. Morfologia, sedimentologia e índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo na região portuária de Vila do Conde – Barcarena – PA. **Relatório do Programa de Capacitação Institucional- PCI/MPEG.** 2007.

CAMARGO, M. G. **SYSGRAN para Windows: Sistema de análises granulométricas.** Pontal do Sul, Paraná. 1999.

CORRÊA, I. C. S. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da baía de Marajó-PA. **Pesquisas em Geociências**, v. 32, n. 2, p. 109 – 118. 2005.

CRONAN, C. S. Skewness and kurtoses in polymodal sediments from the Irish sea. **Journal of Sedimentary and Petrology**, 42(1): 102-107pp. 1972.

FOLK, R. L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. **Journal of Geology** 62: 344–359. 1954.

GALVÃO M. V. G. **Evolução termodinâmica da Bacia do Marajó, Estado do Pará, Brasil.** (Dissertação de Mestrado) - Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto. 193 p. 1991.

GREGÓRIO, A. M. S; MENDES, A. C; SOUZA, D; MARTINS, S. E. M; AOOD, C; MOTA, M. Hidrodinâmica da baía de Guajará (Belém - Amazônia - Brasil) A Partir do Diagrama de Pejrup. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR(COLACMAR). **Resumo expandido.** Florianópolis. 2007.

LANDIM, P. M. B., MONTEIRO, R. C. & CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer.** Geomatemática, Texto Didático 8, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 15 de maio de 2008.

LIMA, R R; TOURINHO, M. M; COSTA, J. P. C. **Várzeas fluvio-marinhas da Amazônia brasileira** – características e possibilidades agropecuárias. 2º edição. 2001.

MABESOONE, J. M. **Sedimentologia.** 2ª ed. Recife. Universitária. 475p. 1983.

MARTINS, S. E. M. **Caracterização sedimentológica de fundo da área de influência do porto de Vila do Conde - margem Leste do rio Pará, Barcarena/PA.** (Monografia

de conclusão de curso) 69 f. Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 2007 (a)

MARTINS, S. E. M. et al. Teor de Matéria Orgânica em sedimentos de fundo na área de influência do Porto de Vila do Conde, Rio Pará, Barcarena/PA. **Resumo expandido**. Anais do XI Congresso Brasileiro de estudos do Quaternário – ABEQUA, 2007. (b)

MARTINS, S. E. M. ; MENDES, A. C. Hidrodinâmica da área de influência do porto de Vila do Conde, margem leste do rio Pará (Barcarena - Amazônia - Brasil) a partir do diagrama de Pejrup. **Resumo**. In: 44º Congresso Brasileiro de Geologia, 2008, Curitiba. 44º Congresso Brasileiro de Geologia livro de Resumos, 2008.

NASCIMENTO, M. S. **Minerais Pesados das Formações Ipixuna e Barreiras, região de Ipixuna, leste da sub-bacia de Cametá – NE do Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 86p. Dissertação (Mestrado). 2002.

NEVES, P. C. P; SCHENATO, F; BACHI, F. A. **Introdução a mineralogia prática**. 2 ed. 336 p. Canoas: Ed. ULBRA, 2008.

PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: Boer,P.L.; van Gelder,A. & Nio,S.D.(Ed). **Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies**. D.Reidel, Dordrecht. p.289 – 300. 1988.

SEPOF. **Relatório de Estatística municipal: Barcarena. Secretaria Especial de Estado de Gestão e da Secretaria Executiva de Estado Planejamento Orçamento e Finanças**. Governo do Pará. p. 40. 2005.

SOUZA, R. R de. **Modelagem numérica da circulação de correntes de maré na baía de Marajó e Rio Pará (PA)**. Dissertação de mestrado. São Paulo: USP. 159p. 2006.

SUGUIO, K. **Introdução a sedimentologia**. São Paulo. Edgard Blucker, 342p. 1973.



**Capítulo III**

COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE MINERAIS PESADOS DE DEPÓSITOS  
SEDIMENTARES RECENTES DA PORÇÃO SUPERIOR DO ESTUÁRIO DO RIO  
PARÁ (BAÍA DE MARAJÓ, AMAZÔNIA)

*Silvio Eduardo Matos Martins<sup>\*a</sup> & Iran Carlos Stalliviere Corrêa<sup>a</sup>*

*<sup>a</sup> Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul,*

*Av. Bento Gonçalves, 9500 - Caixa Postal 15.001 - Bloco 43.125, 91501-970, Porto  
Alegre, Brasil.*

*\*e-mail: silvio\_matos@yahoo.com.br*

**Resumo:**

A presente proposta visa caracterizar os depósitos sedimentares superficiais da planície arenosa de maré e de fundo/canal da porção superior da baía de Marajó, na área de influencia do Porto de Vila do Conde quanto sua composição e distribuição de minerais pesados. A análise dos grãos opacos mostrou que, em sua maior proporção, estão presentes grãos de óxidos e hidróxidos de ferro (Hematita, Goethita e Limonita), ilmenita e leucoxênio. Os sedimentos de fundo do rio Pará estão representados principalmente por zircão, estaurolita, cianita, turmalina (dravita, elbaíta, indicolita e schorlita), granada e rutilo. Secundariamente ocorrem sillimanita, andaluzita, epidoto, apatita, topázio, muscovita, tremolita-actinolita, hornblenda, diopsídio, monazita, augita e biotita. Os grãos de estaurolita, zircão, turmalina e cianita apresentam ampla distribuição em todas as amostras dos sedimentos de fundo e planície. A assembléia mineralógica de pesados indica mais de uma área fonte de sedimentos. A distribuição dos minerais pesados indica atividade de correntes que atuam na seleção da suíte de minerais assim como o retrabalhamento do sedimento nos afloramentos da formação Barreiras. A suíte de minerais indica uma proveniência potencial de rochas metassedimentares, metamórficas de alto, médio e baixo grau e ígneas que afloram nas adjacências da área, tais quais de forma primária a formação Barreiras e pós-Barreiras e secundariamente o complexo cristalino Xingu e o grupo Tocantins.

Palavras-chave: composição mineralógica, sedimentos recente, baía de Marajó.

**Abstract:** *COMPOSITION AND DISTRIBUTION OF HEAVY MINERALS ON RECENT SEDIMENTARY DEPOSITS OF THE UPPER ESTUARY OF PARÁ RIVER (MARAJÓ BAY, AMAZON)*

This proposal aims to characterize composition and distribution of heavy minerals of recent sediments of the sandy tidal plain and bottom / channel of the upper portion of the Bay of Marajo catchment area of the Port of Vila do Conde. The analysis of the opaque grains showed that, in its higher proportion of these grains are iron oxides and hydroxides (hematite, goethite and limonite), ilmenita and leucoxênio. The bottom sediments of the Para River are represented by zircon, staurolite, kyanite, tourmaline (dravite, elbaite, Indicolite and schorl), garnet and rutile. Secondly occur sillimanite, andalusite, epidote, apatite, topaz, muscovite, tremolite-actinolite, hornblende, diopside, monazite, augite and biotite. The grains of staurolite, zircon, tourmaline and kyanite are widely distributed in all samples of bottom and tidal plain sediments. The heavy mineral assemblage indicates more than one source area of sediments. The distribution of heavy minerals indicates activity of currents that operate in the selection of the suite of minerals as well as the reworking of the sediment in the Barriers formation outcrops. The mineral suite indicates a potential provenance, metasedimentary rocks, metamorphic high, medium and low grade and igneous rocks that outcrop in the vicinity of the area, in a primary form the Barriers formation and post-Barriers and, then the Xingu crystalline complex and Tocantins group.

Keywords: mineral composition, sediments recent, Marajó Bay

## INTRODUÇÃO

Entende-se como rio Pará, um conjunto hidrográfico, formado por inúmeros rios cujas águas nele desembocam, dando origem a uma sucessão de baías e enseadas que se estendem ao longo de toda costa sul da ilha de Marajó e o continente, iniciando a baía de Marajó. O rio Pará, possui mais de 300 km de extensão e cerca de 20 km de largura média. (Lima *et al.* 2001)

O Terminal de Vila do Conde se encontra no local denominado ponta Grossa, às margens direita do rio Pará, Município de Barcarena. O porto foi inaugurado na década de 80 para dar suporte a movimentação e o escoamento de bauxita e alumínio, respectivamente, no complexo Albras-Alunorte. Atualmente, as cargas predominantes no Porto de Vila do Conde são: alumina, lingotes de alumínio, bauxita, coque, óleo combustível, madeira e piche. (Costa, 2006)

O entendimento a cerca da distribuição superficial de sedimentos de fundo em ambientes costeiros têm importante papel em diversas áreas, seja para o planejamento de canais de acesso a terminais portuários e marinas, seja para entender o substrato e os organismos existentes naquela região.

O balanço climatológico positivo (altos índices de precipitação pluviométrica) na região é o maior responsável pelo *run off* de sedimentos para os rios. Entretanto, também ocorre o retorno dos sedimentos vindos da embocadura da baía de Marajó e que são trazidos pelas correntes e marés.

Os sedimentos que ocorrem no fundo do rio Pará são transportados através dos rios Tocantins, Anapu, seus afluentes, outros rios e pelo próprio rio Pará e são compostos basicamente por silte, argila e matéria orgânica oriunda da decomposição vegetal, o que é um fenômeno bastante conhecido na região.

Segundo Martins (2010 a, b), estudos deste cunho são pouco realizados na região estudada. A relevância da análise está na apresentação das atuais características sedimentares da área submersa do Porto de Vila do Conde e futuras comparações com suas eventuais modificações, mudanças estas relacionadas a variantes naturais e/ou de cunho antropogênico, visto as recorrentes atividades industriais e portuárias na área.

Os minerais pesados têm sido tradicionalmente utilizados em estudos sedimentológicos, estratigráficos e econômicos. No campo da sedimentologia, esses minerais envolvem principalmente estudos relacionados à proveniência (área-fonte) e dispersão dos sedimentos (Martins, 2007)



A presente proposta visa caracterizar os depósitos sedimentares superficiais da planície arenosa de maré e de fundo da porção superior da baía de Marajó, na área de influência do Porto de Vila do Conde. Sendo levadas em consideração a composição e distribuição sedimentar de minerais pesados.

Os estudos de distribuição e proveniência do material sedimentar detrítico, constituem uma importante ferramenta para a análise e interpretação da evolução geológica das bacias sedimentares. Estudos desta natureza permitem caracterizar os sedimentos e obter informações importantes sobre as áreas-fonte destes materiais, além de resolver problemas de proveniência e correlação estratigráfica. A análise dos minerais pesados permite uma abordagem precisa para determinar a proveniência sedimentar. Um grande número de minerais pesados detríticos é encontrado em arenitos, Mange e Maurer (1992) descrevem cerca de 50 espécies. O valor da técnica reside, não só no número de minerais, mas também no fato de que muitos constituem paragêneses restritas que positivamente identificam uma área-fonte particular. (Martins, 2007)

Estudos envolvendo minerais pesados em bacias sedimentares são pouco frequentes no Brasil (Remus *et al*, 2004; Nascimento & Goes, 2005; Martins, 2007)

### **Área de Estudo**

O setor do rio Pará, entre a região de Belém e a costa sul-sudeste da ilha de Marajó, consiste em um estuário que se inicia na baía das Bocas (delta de Boiuçu/Breves), prossegue pelo chamado rio Pará, áreas em que recebe toda a massa de águas do rio Tocantins passando à alongada boca do complexo estuarino terminal, sob o nome de baía de Marajó. (Ab'saber, 2006).

A área abrangida pelo estudo está situada entre os paralelos 1°17'S e 1°40'S e os meridianos 48°49'W e 48°33'W (Fig. 01).

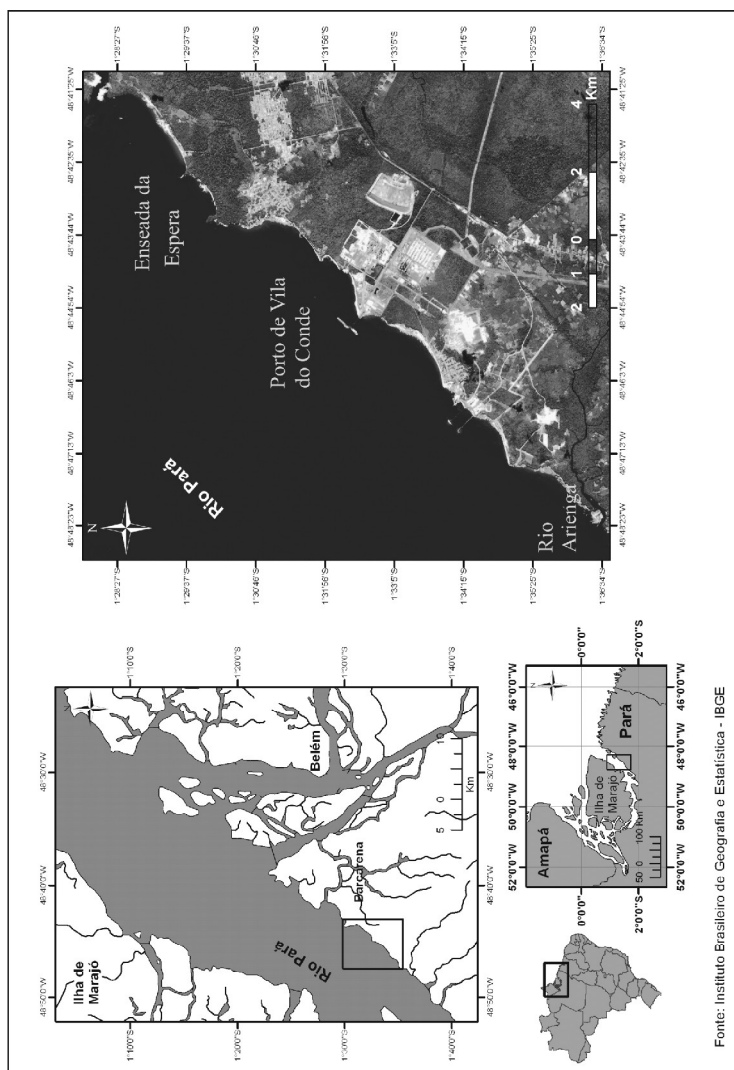


Figura 01: Localização da área de estudo. Baseada em Imagem Spot 5.

O principal acidente hidrográfico de Barcarena é a baía de Marajó que, em sua maior abertura para nordeste, compõe, com outras contribuições hídricas, o “Golfão Marajoara”. Além desses dois elementos, alguns furos separam a porção continental da porção insular do município, entre os quais o Furo do Arrozal e o rio Itaporanga.

### Geologia e Geomorfologia da Amazônia

Segundo Ab'saber (2004) O núcleo sedimentar do grande anfiteatro regional de baixos, equivale a uma bacia sedimentar Paleozóica que somente muito mais tarde foi retomada pela sedimentação, tendo sido, em grande parte, tamponada e até mesmo ultrapassada em área pelas camadas continentais neogênicas (série Barreiras). Na

realidade esta série detrítica, que é a de maior amplitude existente na província sedimentar amazônica, não deixa dúvidas quanto ao seu papel paleogeográfico: ela efetuou uma colmatagem tardia da velha depressão sedimentar regional, desde o setor centro-ocidental e sub-andino até o setor oriental e atlântico.

Somente associação entre os rebaixamentos denudacionais neogênicos e a subsidência moderada dos fins do Terciário, a par com fases de erosão nas áreas de escudos expostos e alterados, é que pode explicar a gênese do domínio amazônico da Formação Barreiras. Segundo Ab'Sáber (2004), tudo indica que a maior parte dos sedimentos neogênicos regionais tenha sido oriunda do arrasamento de regolitos dos escudos Brasileiro e Guianense. Entendemos, dessa forma, que a massa geral de tais depósitos dependeu de paleoregolitos (por argilificação caulínica das áreas cristalinas e cristalofilianas expostas), enquanto o teatro deposicional dependeu do retorno ao caráter de bacia, que afetou tardiamente a velha sinclinal paleozóica regional. Evidentemente tratou-se de uma reativação da subsidência, à custa de uma tectônica de fraturas e falhas, a qual teve seu início em regime de fossas no Mioceno prosseguindo durante o Plioceno sob a forma de uma ampla subsidência regional, por reativação atenuada da tectônica quebrável. Mesmo após a deposição da formação Barreiras, e após a ligeira consolidação de seus sedimentos, houve reativações tardias da tectônica residual.

#### *GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DA BACIA DO RIO TOCANTINS.*

O Baixo Tocantins, na área de influência do reservatório de Tucuruí é caracterizado por dois grandes domínios geológicos: embasamento cristalino, constituído por rochas ígneas e meta-sedimentos e cobertura sedimentar, constituída por sedimentos que se depositaram durante os períodos Mesozóico e Cenozóico (Terciário e Quaternário). Pode-se notar o contato entre as rochas cristalinas do Complexo Xingu (margem esquerda) e rochas metamórficas de baixo grau, do Grupo Tocantins (margem esquerda, leito do rio e margem direita). As três unidades de relevo do baixo Tocantins: Planalto Setentrional Pará-Maranhão, Planalto Rebaixado do Amazonas e depressão Periférica do Sul do Pará, podem ser observados na área de influência dos grandes reservatórios do rio Tocantins. Sua origem está relacionada à atuação de processos erosivos, iniciados no fim do período Terciário. Apresenta várias formas de relevo na região, destacando-se áreas com superfície pediplanadas, áreas dissecadas em colinas de topo aplainado e planícies fluviais. (Comissão mundial de barragens, 1999)

Da região de Belém até a faixa de contato entre os terrenos do Terciário e os do Cretáceo, do norte para o sul, se estende uma rampa ascendente, incluindo tão-somente alguns níveis de aplainações embutidas, terraços fluviais e alongadas, e muito mais largas, calhas aluviais meandricas de baixos vales de rios tributários do Golfão Marajoara. As drenagens dos rios Caju, Moju e Acará agem conseqüentemente na rampa geral sul-norte dos tabuleiros situados entre o encaixado Rio Tocantins e o baixo platô da região Bragantina.

Os rios principais da região têm um traçado geral subparalelo, enquanto seus afluentes tendem para um traçado ortogonal (adaptado ao sistema diaclases da bacia amazônica) e as nervuras dos minúsculos cursos de primeira ordem de grandeza se apresentam sob modelos dentríticos bacinais. A drenagem do rio Capim-Guamá, que desemboca no fundo do estuário do rio Pará, possui traçado altamente anômalo, quando comparado com os cursos vizinhos de Oeste.

#### *GEOLOGIA DO NORDESTE PARAENSE (BAÍA DE MARAJÓ E RIO PARÁ).*

Localizada no norte do Brasil, a bacia de Marajó é também conhecida como um complexo geológico denominado de “Sistema de *rift* do Marajó” (Galvão, 1991). Este *rift* possui como limites a Bacia do Amazonas a sul, Bacia de São Luís-Grajaú a leste e as plataformas do Pará e Bragantina a nordeste. (Nascimento, 2002). A geologia é constituída por sedimentos do Terciário (Formação Barreiras) e do Quaternário. Os primeiros estão presentes, sobretudo, na porção continental do Município de Barcarena, enquanto trechos Quaternários ocorrem nas margens dos rios, constituindo a porção insular do Município.

O golfão Marajoara (anteriormente à formação dos depósitos pleistocênicos que iriam dar origem ao nível Belém-Marajó) se manteve ativo por quase todo o Pleistoceno médio e superior, servindo de largo funil para os afogamentos eustáticos da calha inferior e média do Amazonas da época. Tais fatos respondem, pelo menos parcialmente, pelo represamento de águas e espessamento rápido de pilhas de sedimentos aluviais pleistocênicos e holocênicos, até mais de 1000 km para o interior.

A formação Barreiras, devido à complexidade litológica de seus sedimentos – lacustres, fluviais e fluvio-lacustres – pode ter seus membros ou lentes de areias expostas em tabuleiros ou em interflúvios de baixos platôs. (Ab’Saber, 2004)

## METODOLOGIA

Visando a maior representatividade possível, a partir da malha de amostragem de Martins (2010 a), que contém 254 pontos coletados. Foram escolhidas 19 amostras para as análises mineralógicas, com coordenadas geográficas obtidas em imagem SPOT 5, devidamente georeferenciadas. (Fig. 02)

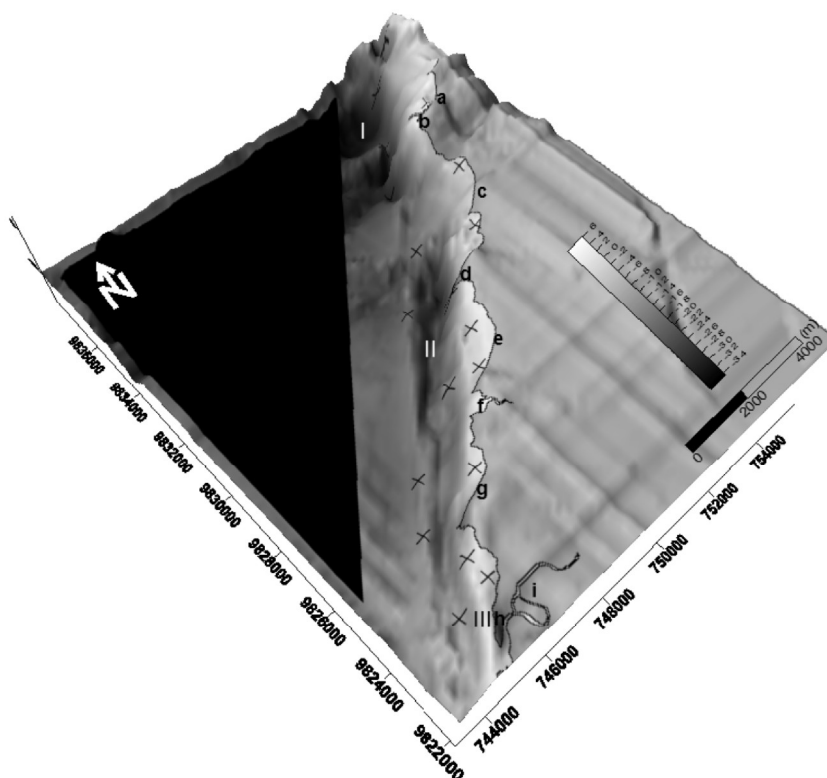


Figura 02: Principais unidades morfológicas e malha de amostras utilizadas nas análises de minerais pesados. (a: enseada da Espera; b: ponta do Miritizal; c: Praia Guajará de Itupanema; d: Porto de Vila do Conde; e: Praia do Conde; f: Igarapé Curupuré, Ymeris rio Caulim S/A e Pará Pigmentos; g: Praia de Beja; h: ponta do Arienga; i: rio Arienga; I: depressão da Espera; II: canal; III: Barra arenosa do Arienga; X: Amostras)

Os dados batimétricos cedidos pela Administração das Hidrovias da Amazônia Oriental (AHIMOR) foram convertidos em tabelas para a confecção de *grid's* e contornos de superfície de plotagem em três dimensões (3D), através do *software Surfer 8.0*.

Para a coleta de sedimentos foi utilizado o amostrador de fundo tipo Petersen (Fig. 3A), operado de forma manual ou com o auxílio de um guincho elétrico (Fig. 3B).

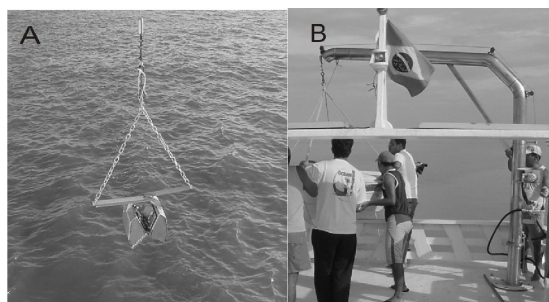


Figura 03 – (A) Amostrador de fundo tipo Petersen; (B) Guincho elétrico utilizado para lançamento de amostrador.

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Sedimentologia do Museu Paraense Emílio Goeldi (LASEDS/MPEG), onde foram submetidas a tratamento prévio (secagem e quarteamento) e análise granulométrica (peneiramento a seco e úmido). As amostras de minerais pesados foram obtidas e identificadas no Laboratório de Sedimentologia do CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

A metodologia aplicada ao processamento das amostras em laboratório envolveu alguns métodos tradicionalmente utilizados nos estudos sedimentológicos (análise granulométrica) e mineralogia de pesados, cujos detalhes são facilmente encontrados na literatura especializada (Mabesoone, 1983; Suguio, 1973; Neves *et al.* 2008, Pereira *et al.* 2005, Menezes, 2007).

### **Análise de Minerais Pesados**

A partir das frações obtidas pelo peneiramento, selecionaram-se para o presente estudo, as frações areia fina e areia muito fina, as quais serão tratadas nos resultados como fração Grossa (G) e Fina (F), respectivamente. A partir do material obtido no peneiramento foram pesadas, com o auxílio de balança manual, as frações granulométricas 0,250-0,125 mm e 0,125-0,062 mm para a preparação das lâminas de minerais pesados.

Os minerais pesados foram separados através da imersão em bromofórmio ( $\text{CHBr}_3$ ) (Fig. 04). Após a separação foram lavados com água destilada e levados à estufa ( $75^\circ$ ) e, em seguida, analisados em lupa binocular. Em caso de presença de película ferruginosa envolvendo os grãos, os sedimentos foram lavados com solução de ácido

clorídrico diluído (10%) e submetidos à ação de ultra-som por 10 minutos. As lâminas foram montadas em meio de imersão de Bálsamo do Canadá (n=1,54).

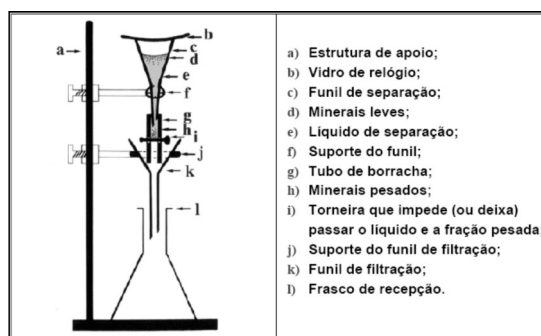


Figura 04: Esquema de separação de minerais pesados por líquido denso. Fonte: Dias (2004)

Utilizou-se o separador eletromagnético isodinâmico Frantz para a separação em grupos de minerais magneticamente diferentes.

Para realizar a identificação dos minerais pesados foi utilizado um microscópio petrográfico ZEISS Axiolab. A contagem dos grãos, para estimar os percentuais dos diferentes minerais, foi realizada segundo o método *Line Counting* (Galehouse, 1971) com a determinação do percentual dos minerais não-opacos, mediante a contagem de cerca de 100-150 grãos. Foram elaboradas tabelas e gráficos de frequências a partir dos percentuais de minerais pesados transparentes.

Para determinar os índices de frequência desses minerais, foram utilizados os seguintes termos: super abundante (> 50%); abundante (10-50%); comum (2-10%) e raro (0-2%) (Coutinho & Coimbra, 1974).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

### Mineralogia

A análise dos grãos opacos mostrou que, em sua maior proporção, estão presentes grãos de óxidos e hidróxidos de ferro (Hematita, Goethita e Limonita), ilmennita e leucoxênio. (Fig. 05)

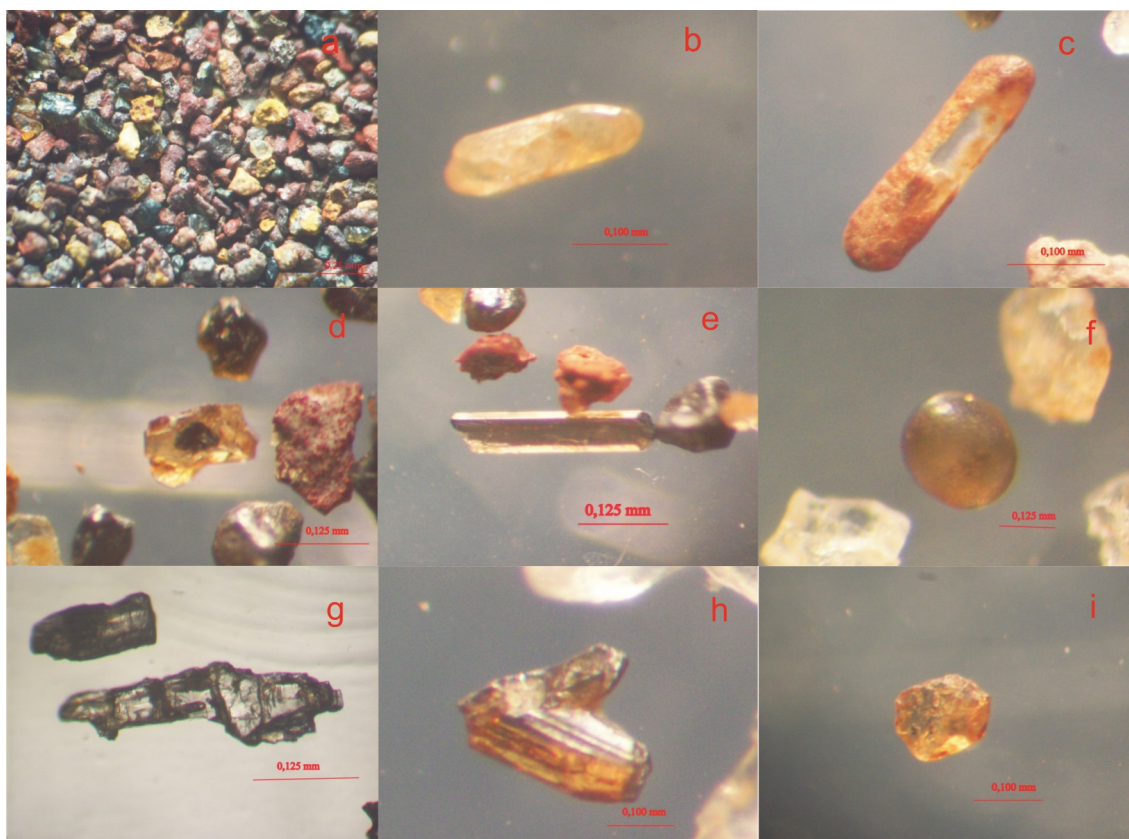


Figura 05: Prancha de minerais: (a) concentrado de opacos; (b) zircão; (c) zircão; (d) estauroлита; (e) turmalina; (f) turmalina; (g) cianita; (h) rutilo; (i) granada.

Esta relação apresentou elevados percentuais de grãos opacos na maioria das amostras, chegando a uma média de 73 e 76% para amostras de fundo e planície, respectivamente. A média de grãos transparentes para as amostras de fundo e planície foi de 27 e 24%, respectivamente.

Os sedimentos de fundo do rio Pará estão representados principalmente por zircão, estauroлита, cianita, turmalina (dravita, elbaíta, indicolita e schorlita), granada e rutilo que constituem, em média, 40%, 13%, 8%, 24%, 3% e 2%, respectivamente (fração fina – 0,125-0,062 mm) e 19%, 27%, 11%, 27%, 2% e 2% respectivamente (fração grossa – 0,250-0,125 mm). (Fig. 06) Secundariamente ocorrem sillimanita, andaluzita, epidoto,



apatita, topázio, muscovita, tremolita-actinolita, hornblenda, diopsídio, monazita, augita e biotita. Os grãos de estauroлита, zircão, turmalina e cianita apresentam ampla distribuição em todas as amostras dos sedimentos de fundo e planície. (Tabelas 01 e 02)

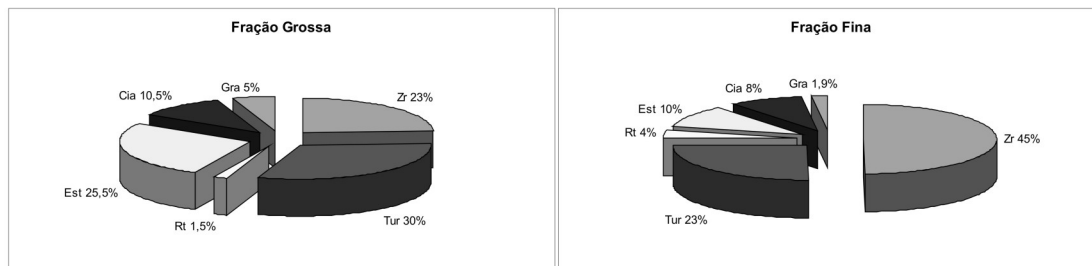


Figura 06: Percentuais de minerais pesados

Tabela 01: Distribuição percentual dos principais minerais pesados superficiais de fundo da baía de Marajó. (Zr = zircão; Tur = turmalina; Rt = Rutilo; Est = Estauroлита; Cia = Cianita; Sil = sillimanita; And = Andaluzita; Gra = Granada; Anf = Anfibólio; Apa = Apatita; Epi = Epidoto)

Amostra	Zr		Tur		Rt		Est		Cia		Sil		And		Gra		Anf		Apa		Epi		Total	
	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F
PA-018	41	38	28	46	---	2	17	6	9	1	1	1	---	---	1	3	3	1	---	---	---	---	103	111
PA-050	26	55	29	16	4	3	31	14	11	5	---	---	---	---	2	1	4	2	---	---	1	---	103	156
PA-068	13	72	31	10	1	1	28	3	8	5	1	1	---	---	9	3	2	---	---	---	1	1	112	116
PA-105	45	47	27	12	4	5	7	8	10	13	1	---	---	1	2	7	---	2	1	1	---	1	111	112
PA-135	9	40	31	29	1	9	34	14	8	4	5	---	2	---	3	---	---	---	1	1	---	---	112	110
PA-140	18	46	33	11	---	---	26	10	8	24	2	---	2	1	2	1	2	5	1	---	2	---	116	101
PA-180	14	56	24	10	3	6	15	5	24	10	1	---	---	---	12	---	1	2	---	1	---	---	123	124
PA-203	22	47	34	25	---	2	34	14	10	10	1	---	1	---	---	---	1	---	---	---	---	---	109	169
PA-222	7	39	17	17	2	5	47	19	16	---	---	---	---	---	8	4	2	1	---	1	---	---	122	128
PA-243	33	16	42	55	---	3	15	---	---	9	1	2	1	---	10	---	3	---	---	2	---	---	94	129

Tabela 02: Distribuição percentual dos principais minerais pesados superficiais da planície arenosa de maré. (Zr = zircão; Tur = turmalina; Rt = Rutilo; Est = Estauroлита; Cia = Cianita; Sil = sillimanita; And = Andaluzita; Gra = Granada; Anf = Anfibólio; Apa = Apatita; Epi = Epidoto)

Amostra	Zr		Tur		Rt		Est		Cia		Sil		And		Gra		Anf		Apa		Epi		Total	
	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F
PA-002	13	40	41	19	1	3	25	4	---	7	2	2	---	---	5	8	---	2	---	2	---	3	94	118
PA-058	6	59	40	12	---	---	30	10	15	11	---	---	---	---	8	6	2	1	---	---	---	---	108	132
PA-086	29	7	5	30	---	---	11	9	7	3	---	1	---	---	---	2	---	---	---	---	---	---	111	103
PA-114	4	56	23	12	---	4	52	13	14	9	2	---	---	---	3	7	1	---	1	---	---	---	110	111
PA-165	34	56	19	20	---	1	31	15	10	6	---	---	---	---	---	2	---	---	3	---	---	---	117	114
PA-183	17	45	34	25	1	3	15	21	20	3	---	---	---	1	---	1	---	---	---	---	---	---	124	108
PA-209	21	29	26	23	3	4	28	13	10	20	2	2	---	---	6	7	---	---	---	1	---	1	110	100
PA-230	37	17	24	46	5	3	25	25	8	7	---	1	---	---	---	---	---	---	---	1	---	---	111	106
PA-240	13	53	34	29	6	2	30	6	17	10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	127	132

Segundo Nascimento (2002), a respeito da distribuição estratigráfica e proveniência dos sedimentos da Formação Barreiras, afirma que nesta formação existe ampla ocorrência de minerais acessórios, representados por zircão, turmalina, estaurolita, cianita e rutilo, além de ocorrências esporádicas de sillimanita, andalusita, granada, topázio, anfibólio e anatásio. Estes minerais apresentam características similares (em proporções e características texturais e morfológicas) com os minerais pesados contidos na área.

Segundo Rossetti *et al.* (1989), os minerais pesados que ocorrem nos sedimentos Barreiras, formação presente no ambiente estudado, estão representados por estaurolita, turmalina, cianita, rutilo, zircão, sillimanita, andalusita, anatásio, granada, apatita, topázio e brookita, sendo os cinco últimos de rara ocorrência (fração areia fina - 0.250-0.125 mm). Na fração areia muito fina (0.125-0.062 mm), ocorrem estaurolita, turmalina, zircão, cianita, rutilo, andalusita, sillimanita, granada, topázio e titanita, sendo que os três últimos são de rara ocorrência.

Segundo Souza (1999), a associação mineralógica da plataforma continental do Pará é formada por um restrito número de minerais, sendo representada predominantemente por estaurolita em grãos de cor marrom e alaranjada com formas irregulares com típicas estruturas de crista de galo, zircão incolores e rosados com formas arredondadas, prismáticas com bordas arredondadas e prismáticas bi-piramidais (menor quantidade) e turmalina com grãos prismáticos (longos e curtos) com bordas arredondadas nas cores marrom e verde, sendo subordinadamente representada por espécies mineralógicas de cianita esbranquiçada com tonalidade levemente azulada, habito tabular e bordas irregulares, andalusita variando de incolor a rosa claro com formas irregulares e inclusões de minerais opacos, rutilo em grãos de cor vermelha e marrom, prismáticos curtos com bordas parcialmente arredondadas, epidoto de cor verde em grãos angulosos e hornblenda de cor verde de forma prismática curta e extremidade corroída.

O estudo dos minerais pesados não opacos, dos sedimentos de fundo do rio Pará indicou que os principais minerais que ocorrem nesses sedimentos estão representados por zircão incolor, vermelho, vermelho terroso, amarelo, amarelo terroso, rosa e marrom arredondado, sub-arredondado, sub-édrico, prismático com faces cristalinas bem definidas e fragmentos angulosos; estaurolita com forma irregular e angulosa nas cores amarelo-alaranjado e amarelo-claro; turmalina verde-azulada, verde, marrom esverdeada e marrom, com forma arredondada, sub-arredondada e euédrica prismática;

cianita incolor com inclusões férricas, com forma tabular alongada e achatada; rutilo de cor vermelha, amarela com forma arredondada e angulosa.

A análise dos minerais pesados revelou a ocorrência de mais de 20 tipos de minerais transparentes nos sedimentos de fundo e planície. É necessário ressaltar que não se inclui nos objetivos específicos deste trabalho o estudo dos minerais opacos.

A ordem de estabilidade da assembléia de minerais pesados identificados pode ser apresentada da seguinte forma:

Minerais Instáveis: hornblenda, actinolita, augita, diopsídio e andaluzita.

Minerais Pouco Estáveis: epidoto, cianita, granada (rica em ferro) e sillimanita.

Minerais Estáveis: apatita, granada (pobre em ferro), estaurolita e monazita.

Minerais Ultra-estáveis: rutilo, zircão e turmalina

## DESCRIÇÃO MINERALÓGICA

Os minerais pesados identificados nos sedimentos de fundo do rio Pará são caracterizados por:

**Zircão** – Mostram extinção paralela, eixo de alongamento positivo, cor de interferência alta e figura uniaxial positiva e com zoneamento. O zircão é um mineral abundante em ambas as frações dos sedimentos de fundo, exibindo diferentes formas e cores. Em geral, os grãos arredondados e subarredondados são os mais comuns. Comumente são incolores, porém ocorrem grãos de cor rosa, vermelho terroso, amarelo terroso e marrom avermelhados. São comuns inclusões fluidas, aciculares e de minerais opacos, além de fraturas e cavidades na superfície dos grãos. São minerais acessório comum em granitos, pegmatitos e rochas metamórficas em geral. Ocorrem comumente em aluviões e praias. (Fig. 05)

**Estaurolita** – É um mineral que apresenta relevo forte, alongamento positivo, extinção paralela à clivagem e figura biaxial positiva. Ocorre abundantemente nesses sedimentos, sobretudo na fração grossa. Normalmente ocorre como grãos irregulares com bordas serrilhadas, passando a grãos sub-arredondados, chegando às vezes a angulosos. Apresentam feições de corrosão, fraturas conchoidais, estruturas típicas de “crista de galo”, em consequência de dissolução. As cores variam de amarelo-alaranjado a

amarelo-claro. Encontram-se associados a xistos e gnaisses de grau médio de metamorfismo; em auréolas de contato com maciços graníticos, frequente em aluviões.

Segundo Nascimento (2006), grãos angulosos com fraturamentos conchoidais recentes, degraus arqueados, semelhantes aos encontrados na estauroлита, indicam sedimentos provavelmente transportados diretamente das áreas fontes até a bacia de deposição. São os considerados sedimentos de primeiro ciclo.

A estauroлита é incontestável representante de eventos metamórficos de médio a alto grau, sendo encontrada em micaxistos e xistos, raramente ocorre em gnaisses. Na Faixa Araguaia são citados quartzitos, micaxistos e xistos contendo quantidades significativas deste mineral (Nascimento, 2006)

**Turmalina** – É um mineral de relevo alto, extinção reta, alongamento negativo nos grãos prismáticos e figura uniaxial negativa. Comum nas duas frações granulométricas, onde se apresenta na forma de grãos arredondados, sub-arredondados e prismáticos (Fig. 05). São comuns as inclusões de minerais, além de corrosão superficial e cavidades presentes na superfície de alguns grãos. As cores são preta (schorl), verde, verde-azulado, marrom esverdeado (castanhas), marrom e, raramente, azul (indicólita). Associadas a pegmatitos graníticos, granito (Fe- e Li-turmalinas: schorl e elbaitas), filões pneumatolíticos, calcários metamórficos; sedimento de origem marinha, turmalitos (rochas exalíticas), e vaporitos (Mg- turmalina: dravita) bastante frequente em aluviões.

**Cianita** – Mineral de alongamento positivo, relevo alto, extinção oblíqua a quase reta e figura biaxial negativa abundante nos sedimentos das duas frações granulométricas, exibindo normalmente grãos achatados e alongados paralelamente ao eixo C, com formas tabulares (longas e curtas). Apresentam clivagens perfeitas que dão um contorno aproximadamente retangular, onde são observados degraus ou cruzamentos produzidos por dominância diferencial entre os planos das clivagens que formam  $90^{\circ}$ . Ocorrem com inclusões de minerais opacos. associada a rochas metamórficas (metamorfismo regional) do tipo gnaisses e micaxistos. Frequente em aluviões e depósitos litorâneos.

A cianita indica fontes de gnaisses, granulitos e xistos, estes gerados durante metamorfismo regional de rochas pelíticas (Mange & Maurer, 1992). Nos grupos Estrondo e Tocantins da Faixa Araguaia são encontradas em várias unidades (Costa, 1980)

**Rutilo** – Mineral de extinção reta, alongamento positivo, figura uniaxial positiva e relevo muito elevado ressaltado pelas bordas escuras (Fig. 05). O rutilo é um mineral comum nos sedimentos de fundo do rio Pará. Ocorre normalmente como grãos em formas angulosas, com arestas progressivamente arredondadas, irregulares e subédricas com cores que variam entre vermelho sangue a amarelo-alaranjado. O rutilo pode ser encontrado em rochas metamórficas tipo xistos, gnaisses e anfibolitos, e em rochas graníticas.

**Silimanita** – Mineral de relevo alto, alongamento positivo, extinção reta e com figura biaxial positiva. A silimanita é um mineral de ocorrência bastante restrita nos sedimentos de fundo, apresentando-se em grãos incolores com formas prismáticas alongadas e bordas irregulares. Mineral relacionado a rochas metamórficas de altas temperaturas e pressões. Frequentemente encontram-se presentes em aluviões.

**Anfibólio** – Mineral de relevo médio, alongamento positivo e extinção inclinada que forma figuras biaxial negativa. O anfibólio é também um mineral raro nos sedimentos de fundo apresentando-se em forma prismática curta com borda serrilhada e cor verde. Pode-se identificar hornblenda e tremolita-actinolita.

**Granada** – Mineral comum em rochas da crosta e, portanto, bastante frequente em aluviões. A grossulária é característica de calcários impuros afetados por processos ígneos ou metamórficos. A almandina é comum em micaxistos e rochas metamórficas que contenham ferro e alumina. O piropo está relacionado a rochas ultrabásicas, peridotitos, dunitos, serpentinitos e kimberlitos. A espessartita ocorre em rochas graníticas e sedimentos manganésíferos metamorfizados.

**Epidoto** – Mineral raro nas frações grossa e fina. Apresenta grãos angulosos, irregulares e inequidimensionais (anédricos). Predominam os grãos de coloração verde-amarelado. Apresenta a cor de interferência azul-indigo. Muitos grãos mostram alterações superficiais produzidas por dissolução, a qual conferem ao mesmo um aspecto escamoso. O epidoto é um mineral indicador de condições hidrotermais; podendo ser proveniente de metamorfismo de rochas básicas. Cristaliza em todas as

condições de metamorfismo regional; indicador geral de condições retrometamórficas. Bastante comum em aluviões.

**Distribuição espacial dos principais grupos de minerais pesados presentes nas frações fina e grossa na superfície do fundo da baía de Marajó e na planície arenosa de maré.**

De forma geral os minerais pesados presentes na fração fina se distribuíram no canal principal em frente ao porto de Vila do Conde e na porção entre este porto e os Terminais da Pará Pigmentos e Ymeris Rio Caulin S/A.

A fração fina apresentou altos teores na porção sul da ponta do Miritizal, sobre a planície arenosa de maré na praia Guajará de Itupanema e na porção mais ao norte, onde estão localizados os depósitos lamosos próximos as áreas de várzea.

A fração grossa se apresentou, de forma geral, distribuída no canal principal, na porção ao norte do porto de Vila do Conde e na depressão da Espera, localizada mais ao norte. Sobre a planície arenosa, a fração grossa, se distribui principalmente nas praias do Conde, de Beja e no banco arenoso da foz do rio Arienga. (Tabela 03)

Tabela 03: Correlação das unidades morfológicas de fundo e o sedimento que as compõe.

<b>Unidades morfológicas</b>	<b>Classificação Textural de Folk (1954)</b>	<b>Mineralogia</b>
<b>Canal</b>	Areia à cascalho arenoso, pobremente selecionado	Zircão arredondado e bem arredondado, Turmalina (FG) prismática, arredondada e sub-arredondada, Cianita (FF), Rutilo sub-angular e Granada sub-angular e sub-arredondada.
<b>Barra arenosa na foz do rio Arienga</b>	Areia média, moderadamente bem selecionada	Zircão, Turmalina, Estaurolita, Cianita, Rutilo (FG).
<b>Unidades de baixa declividade às margens – Planícies arenosas – “praias”</b>	Areia siltosa à areia, sendo moderadamente selecionada	Zircão arredondado e bem arredondado, Turmalina prismática e sub-angular, Estaurolita angular e sub-angular, Cianita, Granada (FF) sub-arredondada e arredondada.
<b>Depressão da Espera</b>	Silte, silte arenoso, lama com cascalho e lama arenosa	Zircão, Turmalina e Rutilo.

**ZIRCÃO:**

As áreas que apresentam distribuições correlatas de zircões são a praia Guajará de Itupanema e ao sul do porto de Vila do Conde, local de intensa destruição de barrancos nos processos de enchente e vazante de marés, onde aflora a formação Barreiras. Outro

local onde se pode observar a concentração de zircões nas frações fina e grossa é nas proximidades da desembocadura do rio Arienga. (Fig. 07)

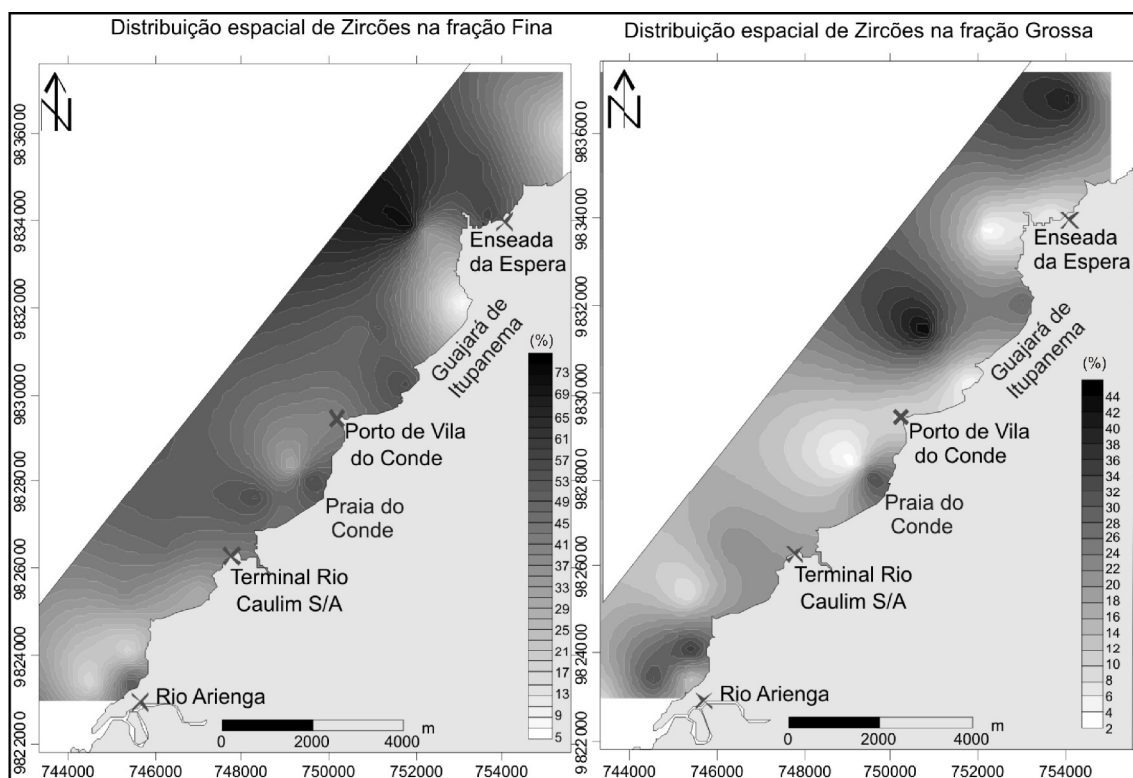


Figura 07: Distribuição espacial de zircões.

A fração fina apresentou uma distribuição de grãos de zircão, mais uniforme que a fração grossa. No entanto, é evidente uma maior concentração dos grãos na área de canal, na porção oeste da enseada da Espera, local onde o índice de frequência foi muito abundante. (Fig. 07)

Quanto à distribuição de zircão na fração grossa, pode-se notar uma concentração preferencial, também nas áreas de canal, em especial na porção que compreende o porto de Vila do Conde e a enseada da Espera, assim como ao norte da referida enseada. A maioria das amostras estudadas apresentou um índice abundante para a fração grossa. (Fig. 07)

#### *TURMALINA:*

É observada a concentração de turmalinas nas frações grossa e fina, coincidindo principalmente na influência do rio Arienga, na porção sudoeste do mapa, e também na porção a norte da enseada da Espera, locais em que o índice de frequência foi muito abundante para a fração fina e abundante para a fração grossa. Nota-se ainda que a fração fina se concentra nas proximidades da margem, na planície arenosa. Por outro



lado as maiores concentrações de turmalinas, na fração grossa, estão relacionadas às áreas de canal, na porção mais profunda do ambiente estudado. (Fig. 08)

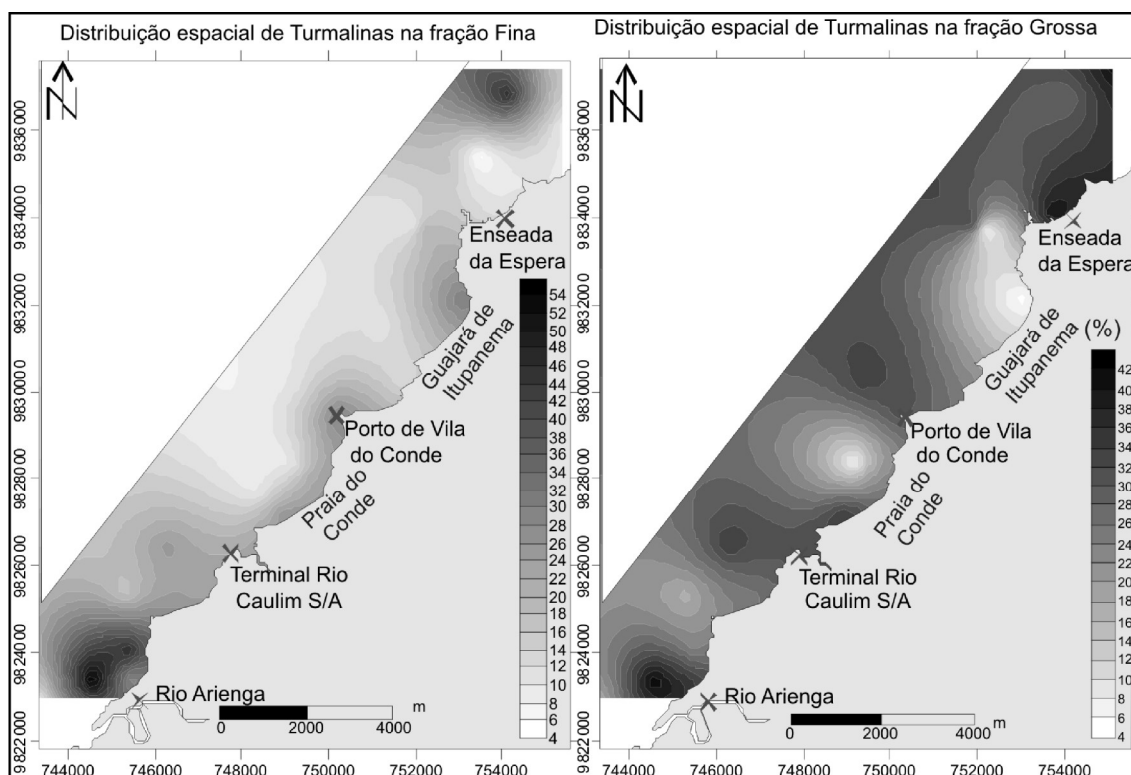


Figura 08: Distribuição espacial de turmalinas.

#### *ESTAUROLITA:*

As estaurolitas estão amplamente distribuídas nos ambientes profundos e de planície, em ambas as frações sedimentológicas estudadas, no entanto é notável uma maior concentração na porção entre a desembocadura do rio Arienga e o Terminal da empresa Rio Caulim S/A, com quantidade superior da fração fina mais próxima à planície e da fração grossa nas porções mais profundas e dinâmicas. Em ambas as frações são observadas a presença de estaurolitas ao norte da ponta do Miritizal. O índice de frequência foi abundante para os pontos descritos anteriormente. (Fig. 09)

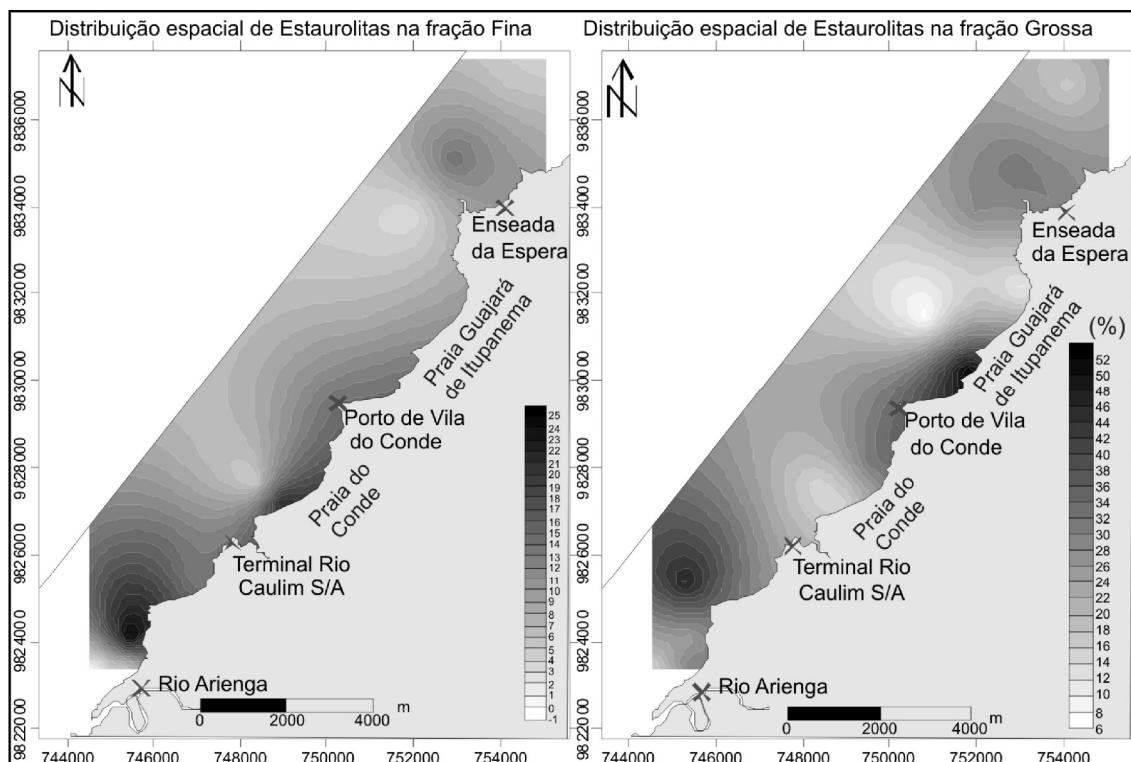


Figura 09: Distribuição espacial de estaurolitas.

Observa-se uma concentração de estaurolitas da fração fina nas áreas de afloramento da formação Barreiras, principalmente nas proximidades da praia do Conde, que está localizada entre o porto de Vila do Conde e os terminais de empresas já citadas. Quanto à distribuição de grãos de estaurolitas na fração grossa, nota-se uma concentração ao norte do porto de Vila do Conde, na praia de Guajará de Itupanema. (Fig. 09)

#### *CIANITA:*

Os grãos de cianita, assim como os de estaurolita e zircão, estão amplamente distribuídos na área estudada, com poucos pontos de concentração do mineral em questão. As maiores concentrações estão relacionadas às áreas de planície onde a cianita se mostrou abundante nas proximidades das margens, ainda que a fração fina apresente forte concentração na área de canal, próximo ao porto de Vila do Conde. Áreas preferenciais de concentração nas frações fina e grossa são: a enseada da Espera e as praias Guajará de Itupanema e do Conde, estando presente nesta última um elevado percentual de cianita no que diz respeito à fração grossa. (Fig. 10)

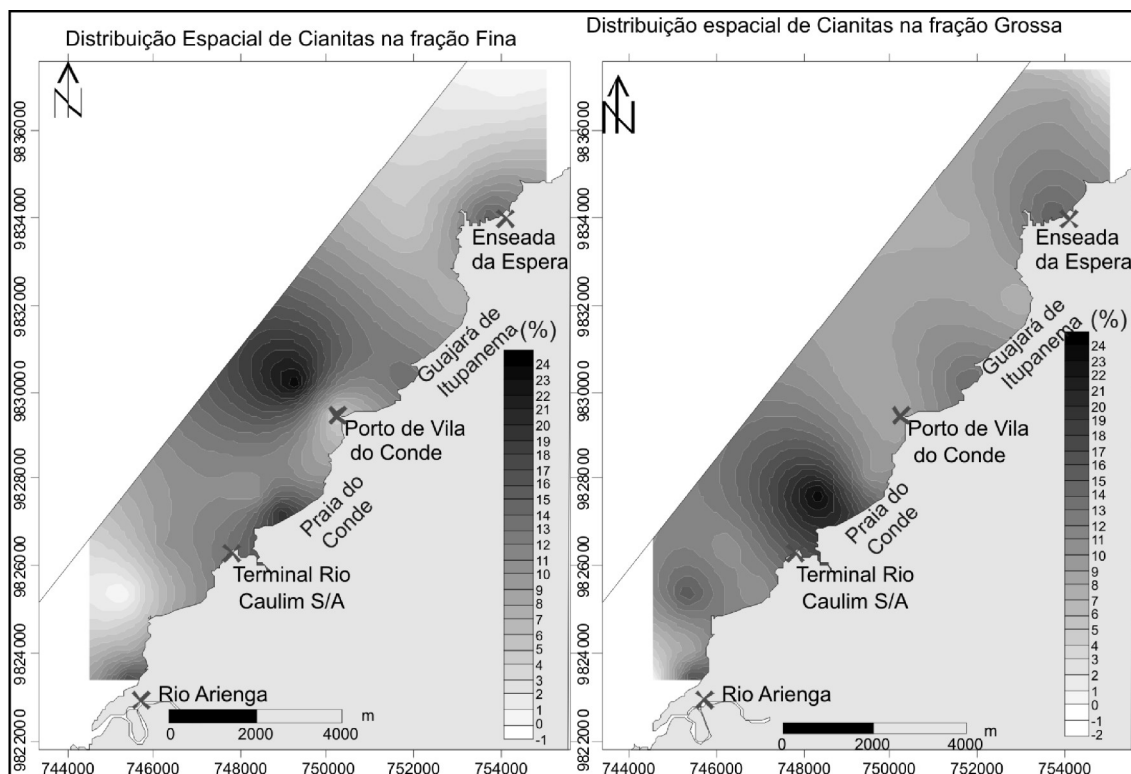


Figura 10: Distribuição espacial de cianitas.

#### *RUTILO:*

O rutilo apresenta-se distribuído nas frações fina e grossa, principalmente nas áreas de canal, nas proximidades da ponta do Miritizal e na porção oeste da enseada da Espera. A fração grossa apresenta-se como comum para a maioria dos pontos estudados, com ligeira concentração na influência do rio Arienga, sobre a planície de maré. (Fig. 11)

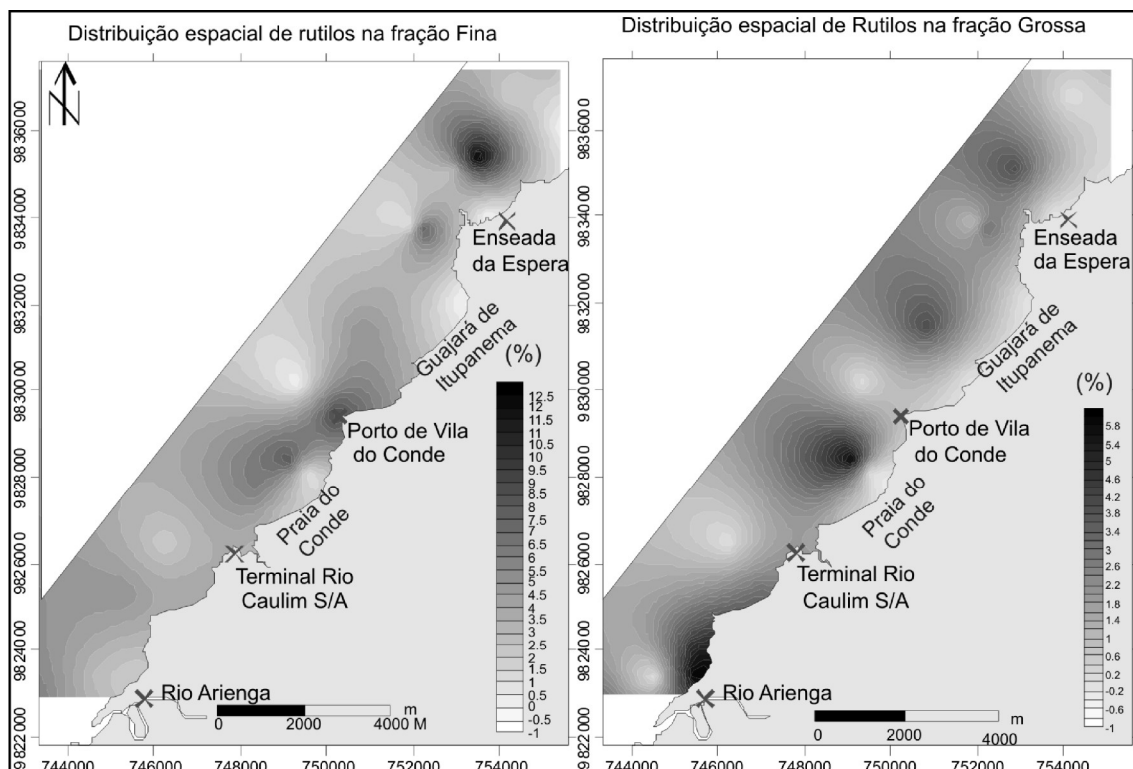


Figura 11: Distribuição espacial de rutilos.

A fração fina mostra concentração abundante em alguns pontos estudados, apresentando-se principalmente na porção nordeste da área de estudo.

#### *GRANADA:*

Os grãos de granada estão timidamente presentes nos vários ambientes descritos no presente estudo, podendo ser observados no fundo da baía de Marajó e também nas proximidades das margens. A fração fina apresenta distribuição comum na planície de maré, em contato direto com os afloramentos do Barreiras. (Fig. 12)

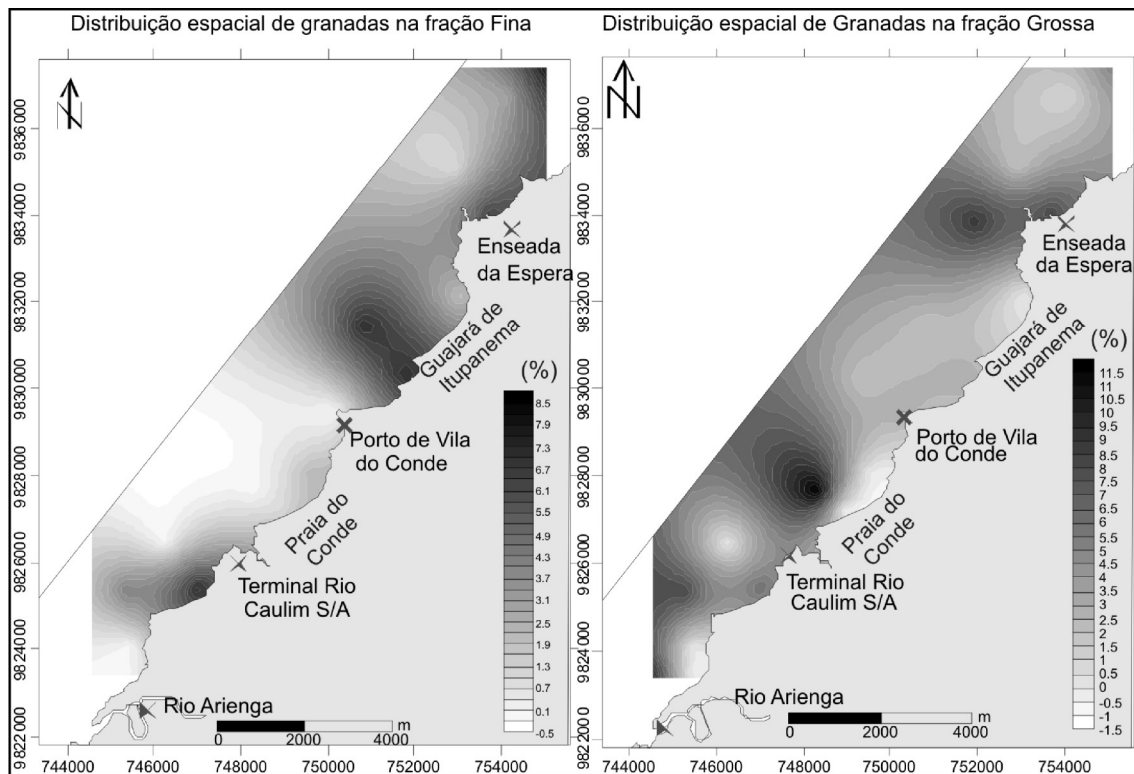


Figura 12: Distribuição espacial de granadas.

Por outro lado a fração grossa apresenta maior concentração e distribuição comum nas porções profundas ao norte dos terminais do rio Capim S/A e Ymeris do Brasil, local onde se encontra o Igarapé Curupuré.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A assembléia mineralógica de pesados que ocorrem nos sedimentos de fundo do rio Pará, na área de influência do porto de Vila do Conde, é constituída por zircão, estauroлита, cianita, turmalina, rutilo, sillimanita, andaluzita, epidoto, granada, apatita, topázio, muscovita, tremolita-actinolita, hornblenda, diopsídio, monazita, augita e biotita.

A assembléia mineralógica de pesados indica mais de uma área fonte de sedimentos.

A distribuição dos minerais pesados indica atividade de correntes que atuam na seleção da suíte de minerais assim como o retrabalhamento do sedimento nos afloramentos da formação Barreiras.

A concentração de minerais ultra-estáveis na região da depressão da espera indica que estes sedimentos passaram por um elevado número de processos geológicos, tais quais intemperismo físico, químico e seleção por correntes de fundo.

Apesar dos resultados apresentados nesta pesquisa não permitirem estabelecer uma relação direta acerca da proveniência destes depósitos, pode-se sugerir, com base no método clássico de análise de minerais pesados, que as fontes primárias ou primordiais dos sedimentos que compõem a porção superior da baía de Marajó são, potencialmente, rochas metassedimentares, metamórficas de alto, médio e baixo grau e ígneas que afloram nas adjacências da área, tais quais de forma primária a formação Barreiras e pós barreiras e secundariamente o complexo cristalino Xingu e o grupo Tocantins.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem o apoio financeiro do Projeto PIATAM –MAR II (Petrobrás), a CAPES por disponibilizar bolsa ao primeiro autor, ao Museu Paraense Emílio Goeldi, por disponibilizar seus laboratórios e aos pesquisadores Cléa Silva, Francisco Berrêdo, Odete Silveira, Messiana Boulhosa, Aderson Gregório, Murilo Mota, Paulo Tadeu e Wilton Júnior. E ao CECO (Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica - UFRGS) pelo apoio técnico e científico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER A. N. **Paisagens de exceção: O litoral e o pantanal matogrossense: Patromônios básicos.** São Paulo: Ateliê editorial. 2006.
- AB'SÁBER A. N. **Amazônia do discurso a práxis.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2004
- COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS. Estudo de Caso Brasileiro, UHE Tucuruí. **Relatório.** Belém. 1999.
- COSTA J. B. S. Estratigrafia da região de Colméia. Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriú, **anais:** 720-728. 1980.
- COSTA M.A.F.G (Coord.). Desenvolvido pelo Ministério dos transportes. CDP. (Apresenta textos sobre as Docas do Pará). Disponível em < <http://www.cdp.com.br/historicoViladoConde.aspx>> acesso em: 13 de dez. 2008
- COUTINHO J. M. V. & COIMBRA, A. M. Os Pesados do Barreiras na Costa Oriental Brasileira: Estudo de Áreas-fonte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28. 1974, Porto Alegre. **Anais do congresso brasileiro de Geologia.** Porto Alegre: SBG, v.5, p.27-41. 1974
- DIAS J. A. **Análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos.** Universidade de Algarve. 2004
- FOLK R. L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. **Journal of Geology** 62: 344-359. 1954
- GALEHOUSE J. S. Sedimentation analysis. In: CAVER R. E. (ed.). **Procedures in sedimentary petrology.** New York: John Wiley & Sons. p. 69-94. 1971
- GALVÃO M.V.G. **Evolução termodinâmica da Bacia do Marajó, Estado do Pará, Brasil.** (Dissertação de Mestrado) - Universidade de Ouro Preto, Ouro Preto. 193 p. 1991
- LIMA R R; TOURINHO M. M; COSTA J.P.C. **Várzeas fluvio-marinhas da Amazônia brasileira – características e possibilidades agropecuárias.** 2º edição. 2001
- MABESOONE J.M. **Sedimentologia.** 2ª ed. Recife. Universitária. 475p. 1983
- MANGEM A. & MAURER H, F. W. **Heavy Mineral in Colour.** London Chapman & Hall. 147 p. 1992
- MARTINS L. P. **Aplicação de minerais pesados no estudo da proveniência dos arenitos da formação São Mateus, bacia do Espírito Santo.** (Monografia de conclusão de curso). Faculdade de geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007

MARTINS S. E. M & MENDES A. C. Caracterização de depósitos sedimentares recentes da porção superior da baía de Marajó (margem leste do Estuário do Rio Pará, Amazônia). **Revista Pesquisas em Geociências**. (submetido) (a)

MARTINS S. E. M; MENDES A. C. CORRÊA I. C. S. Geomorfologia e sedimentologia dos depósitos recentes da porção superior da baía de Marajó, área de influência do porto de Vila do Conde, Barcarena – PA. **Revista Geociências** (submetido) (b)

MENEZES S. O. **Introdução ao estudo de minerais comuns e de importância econômica**. Juiz de fora, Edição do Autor. 171p. 2007

NASCIMENTO M.S. **Minerais Pesados das Formações Ipixuna e Barreiras, região de Ipixuna, leste da sub-bacia de Cametá – NE do Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 86p. Dissertação (Mestrado). 2002

NASCIMENTO M. S & GÓES A. M. Distribuição estratigráfica e proveniência de minerais pesados das Formações Ipixuna e Barreiras, Região do rio Capim, Sul da Sub-Bacia de Cametá. **Revista Brasileira de Geociências**, 35: 49-58. 2005

NASCIMENTO M.S & GÓES A. M. Petrografia de arenitos e texturas de minerais pesados e quartzo: uma contribuição ao estudo da proveniência de depósitos albianos na borda sul da Bacia de São Luís–Grajau. Sociedade Brasileira de Geologia. **Simpósio de Geologia da Amazônia**, Belém, Pará, Brasil, vol. 9. 2006

NEVES P. C. P; SCHENATO F; BACHI F. A. **Introdução a mineralogia prática**. 2 ed. 336 p. Canoas: Ed. ULBRA. 2008.

PEREIRA R. M. (ORG.). **Minerais em Grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação**. São Paulo: Oficina de textos. 2005

ROSSETTI D. F. & TRUCKENBRODT W. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, NE do Estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra. 59:704-716. 1989.

REMUS M. V. D; DE ROS L. F; DILLENBURG S; SPLENDOR F; NUNES, L. C. Aplicação da microsonda eletrônica na análise de proveniência: Granadas – traçadores de áreas fonte nas Bacias de Santos e Pelotas. In: DEZ ANOS DE MICROSSONDA EM PORTO ALEGRE. Porto Alegre, RS, 15 e 16 de Abril, 2004, **Atas**. p. 101-107. 2004.

SOUZA S. R. **Análise Textural de Sedimentos Arenosos e Identificação dos Minerais Pesados Contidos na Cobertura Sedimentar da Plataforma Continental do Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 76p. (Trabalho de Conclusão de Curso). 1999.

SUGUIO K. **Introdução a sedimentologia**. São Paulo. Edgard Blucher, 342p. 1973.





## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo trata da integração da síntese dos resultados obtido nos dois trabalhos que fazem parte da dissertação, os quais serviram de base para as conclusões.

### GEOMORFOLOGIA COSTEIRA:

Baseado nos dados de profundidade foi confeccionada a carta batimétrica e o bloco diagrama representativo da morfologia de fundo, a partir dos quais as análises de formas de fundo e da margem puderam ser descritas e analisadas a seguir.

#### **Enseada da Espera:**

A enseada da Espera é uma forma costeira com 1,5 km de comprimento de baixa declividade e profundidade variando de -1 á -5m, estando delimitada por promontórios lateríticos. Ao norte desta se encontra a praia do Caripi.

#### **Depressão da Espera:**

A depressão da espera é a porção mais profunda da área estudada com cerca de -36m de profundidade. Possui forma semi-circular e aproximadamente 0,25 km<sup>2</sup> de área. Esta forma de fundo se encontra a oeste da enseada da Espera.

#### **Ponta do Miritizal:**

A ponta do Miritizal é uma forma costeira erosiva com cerca de 300 m de comprimento. Estende-se perpendicularmente a linha de costa, sendo composta principalmente pela fácies laterítica da formação Barreiras.

#### **Canal:**

O canal possui forma retilínea com cerca de 8 km de comprimento, uma média de 0,5km de largura e profundidade que varia de -15 a -27 m. Este se estende da porção sul da ponta do Miritizal aos terminais da Ymeris Rio Caulim S/A e Pará Pigmentos. O Canal Principal possui cerca de 4 km de comprimento se estende do porto de Vila do Conde aos terminais Ymeris Rio Caulim S/A e Pará Pigmentos. Possui profundidade média de -25 m e largura média de aproximadamente 1 km.

#### **Planície arenosa de maré:**

As planícies arenosas de maré são áreas arenosas de baixa declividade próximas as margens, popularmente chamadas de Praias, tais quais as praias de Caripi, Conde, Beja, Itupanema, dentre outras. As planícies podem ser observadas por toda a margem estudada, sendo estas mais largas na porção nordeste da área, onde podem alcançar

média de 1,5 km de largura. Na porção sudoeste as planícies se apresentam com larguras inferiores se comparadas à área anteriormente citada, sendo de menos de 0,7km de largura.

#### **Banco na confluência do rio Arienga:**

O banco formado na confluência do rio Arienga com o rio Pará possui cerca de 3km de comprimento e 500m de largura média, com profundidades variando de 0 a -5m, apresentando-se de forma paralela á ponta do Arienga, feição fluvial formada pela drenagem do rio anteriormente citado, florestada por vegetação típica de áreas de várzea.

#### **SEDIMENTOLOGIA:**

O tamanho granulométrico dos sedimentos superficiais de fundo, no trecho estudado, varia desde argila a areia muito grossa com cascalho. Os valores de diâmetro médio dos sedimentos e a profundidade variam transversalmente à margem.

Segundo a classificação textural de Folk (1954), os sedimentos são predominantemente arenosos, subdivididos em nove classes texturais, a saber: a) cascalho arenoso; b) areia com cascalho; c) areia; d) areia siltosa; e) areia lamosa com cascalho; f) lama arenosa com cascalho; g) lama com cascalho esparso; h) silte arenoso e i) silte. O predomínio, em termos de distribuição espacial, é de areia com cascalho e areia.

De forma geral, o canal apresenta sedimentos variando de areia siltosa a cascalho arenoso, sendo moderadamente selecionado com assimetria negativa. As areias médias, grossas e muito grossas com cascalho, mal selecionadas, ocorrem no leito do canal de acesso ao porto de Vila do Conde

O canal principal, localizado em frente ao píer do porto de Vila do Conde, apresenta sedimentos variando de areia a cascalho arenoso, pobremente selecionado, com assimetria muito negativa.

As areias que ocorrem no leito do canal de acesso ao porto de Vila do Conde, caracterizam o setor como de alta energia hidrodinâmica, responsável pela remoção das areias mais finas e sedimentos lamosos para áreas adjacentes. Segundo Souza (2006), nesses locais as correntes podem atingir velocidade de até 1,24 m/s. Outros setores de deposição de sedimentos grossos correspondem às margens do rio, onde os depósitos estão associados ao input sedimentar decorrente da ação erosiva em áreas de afloramento (“barrancos”), em um sistema de “terras caídas”, ocorrente nos sedimentos do Grupo Barreiras. Foram observadas nas áreas de canal e na planície arenosa de maré,

minerais pesados arredondados e muito arredondados reconfirmando o alto grau de retrabalhamento dos grãos.

Nos depósitos relacionados a padrões hidrodinâmicos de pouca energia, como na porção ao norte da ponta do Miritizal, há predomínio de sedimentos de granulometria silte e argila. Esta área correlaciona-se a região em que um promontório pode causar a diminuição nos níveis de corrente, facilitando a deposição de material pelítico.

A barra arenosa, presente nas proximidades da desembocadura do rio Arienga, é composta por sedimentos formados por areia média, moderadamente bem selecionada, com assimetria variando de aproximadamente simétrica à positiva.

As áreas de baixa declividade, planícies arenosas de maré, nas proximidades da margem, chamadas popularmente de “praias” (Vila do Conde, Beja, Itupanema, entre outras), apresentam sedimentos variando de areia siltosa à areia, sendo moderadamente selecionada e com assimetria variando de aproximadamente simétrica à negativa. Segundo Cronan (1972), os valores de assimetria negativa indicam ambientes com um regime erosivo ou de não deposição e os valores de assimetria positiva estão relacionados à ambientes com regimes deposicionais.

A barra arenosa composta por sedimentos arenosos moderadamente bem selecionados, localizada próximo a desembocadura do rio Arienga, é mantida pela barreira hídrica representada pelas águas do rio Pará, que retém a descarga sedimentar deste rio, formando um cone de sombra e deposição local, devido à diminuição da capacidade de transporte de sedimentos.

Os histogramas de distribuição granulométrica apresentam clara diferença quanto às diferenças de amostras de fundo/canal e as de planície. Os histogramas das amostras de fundo apresentam maiores percentuais de grãos com tamanho de areia média e areia fina com relativo enriquecimento de grãos grossos. O enriquecimento de grossos pode apresentar, em alguns casos, bimodalidade granulométrica, a qual segundo a classificação textural de Folk (1954) atesta a presença de areias com cascalho.

Por outro lado, os histogramas de distribuição de amostras de planície se apresentam de outra forma, caracterizando um enriquecimento de grãos finos, mas apresentando ainda, uma média de grãos de areia média à fina

As areias finas a muito finas, lamas e siltes, encontradas em setores marginais, como as planícies arenosas de maré, nas praias de Conde, Beja, Itupanema, são depósitos relacionados a padrões hidrodinâmicos de energia mais baixa (se relacionados a outras áreas como as de canal), como a porção ao norte da ponta do Miritizal, onde se localiza

a desembocadura do Furo do Arrozal. Estas áreas apresentam sedimentos oriundos da erosão das margens, formadas pelos afloramentos do grupo Barreiras.

O padrão de distribuição de afloramentos lateríticos do grupo Barreiras, no leito do rio, representa a constante retirada dos sedimentos que antes os cobriam, permitindo o afloramento de um horizonte laterítico, o qual representa um antigo limite de lençol freático. Tais afloramentos lateríticos em algumas porções, como na “Pedra do Meio”, representam ilhas-testemunho as quais podem indicar uma antiga localização da margem direita do rio Pará.

Martins (2007; 2008) utilizando a classificação de Pejrup (1988) classificou a margem direita do rio Pará como sob influência de hidrodinâmica alta a muito alta, explicando de forma coerente a dominância de sedimentos de maior granulometria.

Corrêa (2005) inferiu a hidrodinâmica da baía de Marajó através da aplicação do Diagrama de Pejrup. Seus resultados atestam que a porção leste da baía de Marajó, mais precisamente no setor que vai da ilha de Trambioca (ao norte do município de Barcarena) até a desembocadura da baía, foi caracterizado como pertencente ao campo IIIC do diagrama de Pejrup, representando ambiente de alta hidrodinâmica.

Dados semelhantes de hidrodinâmica foram encontrados por Gregório et al (2007) para a área da baía de Guajará, localizada mais ao norte da área estudada. Segundo este estudo, também baseado na análise de diagrama de Pejrup, a baía de Guajará foi classificada como sob influência de hidrodinâmica alta a muito alta com uma circulação estuarina bastante significativa.

Os pequenos, porém notáveis, aumentos nos percentuais de silte e argila, observado no sentido de SW para NE, são favorecidos por áreas de quebra de energia, ou seja, locais protegidos que facilitam a sedimentação de material pelítico. Locais como esses, podem ser observados ao norte da ponta do Miritizal, na enseada da Espera e ao sul da praia Guajará de Itupanema.

## **Mineralogia**

A análise dos grãos opacos mostrou que, em sua maior proporção, estão presentes grãos de óxidos e hidróxidos de ferro (Hematita, Goethita e Limonita), ilmennita e leucoxênio.

Esta relação apresentou elevados percentuais de grãos opacos na maioria das amostras, chegando a uma média de 73 e 76% para amostras de fundo e planície,

respectivamente. A média de grãos transparentes para as amostras de fundo e planície foi de 27 e 24%, respectivamente.

Os sedimentos de fundo do rio Pará estão representados principalmente por zircão, estaurolita, cianita, turmalina (dravita, elbaíta, indicolita e schorlita), granada e rutilo que constituem, em média, 40%, 13%, 8%, 24%, 3% e 2%, respectivamente (fração fina – 0,125-0,062 mm) e 19%, 27%, 11%, 27%, 2% e 2% respectivamente (fração grossa – 0,250-0,125 mm). Secundariamente ocorrem sillimanita, andaluzita, epidoto, apatita, topázio, muscovita, tremolita-actinolita, hornblenda, diopsídio, monazita, augita e biotita. Os grãos de estaurolita, zircão, turmalina e cianita apresentam ampla distribuição em todas as amostras dos sedimentos de fundo e planície.

Segundo Nascimento (2002), a respeito da distribuição estratigráfica e proveniência dos sedimentos da Formação Barreiras, afirma que nesta formação existe ampla ocorrência de minerais acessórios, representados por zircão, turmalina, estaurolita, cianita e rutilo, além de ocorrências esporádicas de sillimanita, andalusita, granada, topázio, anfibólio e anatásio. Estes minerais apresentam características similares (em proporções e características texturais e morfológicas) com os minerais pesados contidos na área.

Segundo Rossetti *et al.* (1989), os minerais pesados que ocorrem nos sedimentos Barreiras, formação presente no ambiente estudado, estão representados por estaurolita, turmalina, cianita, rutilo, zircão, sillimanita, andalusita, anatásio, granada, apatita, topázio e brookita, sendo os cinco últimos de rara ocorrência (fração areia fina - 0.250-0.125 mm). Na fração areia muito fina (0.125-0.062 mm), ocorrem estaurolita, turmalina, zircão, cianita, rutilo, andalusita, sillimanita, granada, topázio e titanita, sendo que os três últimos são de rara ocorrência.

Segundo Souza (1999), a associação mineralógica da plataforma continental do Pará é formada por um restrito número de minerais, sendo representada predominantemente por estaurolita em grãos de cor marrom e alaranjada com formas irregulares com típicas estruturas de crista de galo, zircão incolores e rosados com formas arredondadas, prismáticas com bordas arredondadas e prismáticas bi-piramidais (menor quantidade) e turmalina com grãos prismáticos (longos e curtos) com bordas arredondadas nas cores marrom e verde, sendo subordinadamente representada por espécies mineralógicas de cianita esbranquiçada com tonalidade levemente azulada, habito tabular e bordas irregulares, andalusita variando de incolor a rosa claro com formas irregulares e inclusões de minerais opacos, rutilo em grãos de cor vermelha e marrom, prismáticos

curtos com bordas parcialmente arredondadas, epidoto de cor verde em grãos angulosos e hornblenda de cor verde de forma prismática curta e extremidade corroída.

O estudo dos minerais pesados não opacos, dos sedimentos de fundo do rio Pará indicou que os principais minerais que ocorrem nesses sedimentos estão representados por zircão incolor, vermelho, vermelho terroso, amarelo, amarelo terroso, rosa e marrom arredondado, sub-arredondado, sub-édrico, prismático com faces cristalinas bem definidas e fragmentos angulosos; estauroлита com forma irregular e angulosa nas cores amarelo-alaranjado e amarelo-claro; turmalina verde-azulada, verde, marrom esverdeada e marrom, com forma arredondada, sub-arredondada e euédrica prismática; cianita incolor com inclusões férricas, com forma tabular alongada e achatada; rutilo de cor vermelha, amarela com forma arredondada e angulosa.

A análise dos minerais pesados revelou a ocorrência de mais de 20 tipos de minerais transparentes nos sedimentos de fundo e planície. É necessário ressaltar que não se inclui nos objetivos específicos deste trabalho o estudo dos minerais opacos.

De forma geral os minerais pesados presentes na fração fina se distribuíram no canal principal em frente ao porto de Vila do Conde e na porção entre este porto e os Terminais da Pará Pigmentos e Ymeris Rio Caulin S/A.

A fração fina apresentou altos teores na porção sul da ponta do Miritizal, sobre a planície arenosa de maré na praia Guajará de Itupanema e na porção mais ao norte, onde estão localizados os depósitos lamosos próximos as áreas de várzea.

A fração grossa se apresentou, de forma geral, distribuída no canal principal, na porção ao norte da porto de Vila do Conde e na depressão da Espera, localizada mais ao norte. Sobre a planície arenosa, a fração grossa, se distribui principalmente nas praias do Conde, de Beja e no banco arenoso da foz do rio Arienga.

A distribuição dos minerais pesados indica atividade de correntes que atuam na seleção da suíte de minerais assim como o retrabalhamento do sedimento nos afloramentos da formação Barreiras.

A concentração de minerais ultra-estáveis na região da depressão da espera indica que estes sedimentos passaram por um elevado número de processos geológicos, tais quais intemperismo físico, químico e seleção por correntes de fundo.

Apesar dos resultados apresentados nesta pesquisa não permitirem estabelecer uma relação direta acerca da proveniência destes depósitos, pode-se sugerir, com base no método clássico de análise de minerais pesados, que as fontes primárias ou primordiais dos sedimentos que compõem a porção superior da baía de Marajó são, potencialmente,

rochas metassedimentares, metamórficas de alto, médio e baixo grau e ígneas que afloram nas adjacências da área, tais quais de forma primária a formação Barreiras e pós barreiras e secundariamente o complexo cristalino Xingu e o grupo Tocantins.

A relevância da análise está na apresentação das atuais características sedimentológicas, mineralógicas e geomorfológicas da área submersa do porto de Vila do Conde para futuras comparações com eventuais modificações, mudanças estas relacionadas com variantes naturais e/ou de cunho antropogênico, visto as recorrentes atividades industriais e portuárias na área.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CORRÊA, I. C. S. Aplicação do diagrama de Pejrur na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da baía de Marajó-PA. **Pesquisas em Geociências**, v. 32, n. 2, p. 109 – 118. 2005.
- CRONAN, C. S. Skewness and kurtoses in polymodal sediments from the Irish sea. **Journal of Sedimentary and Petrology**, 42(1): 102-107pp. 1972.
- FOLK, R. L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. **Journal of Geology** 62.: 344–359. 1954.
- GREGÓRIO, A. M. S; MENDES, A. C; SOUZA, D; MARTINS, S. E. M; AOOD, C; MOTA, M. Hidrodinâmica da baía de Guajará (Belém - Amazônia - Brasil) A Partir do Diagrama de Pejrup. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR(COLACMAR). **Resumo expandido**. Florianópolis. 2007.
- MARTINS, S. E. M. **Caracterização sedimentológica de fundo da área de influência do porto de Vila do Conde - margem Leste do rio Pará, Barcarena/PA**. (Monografia de conclusão de curso) 69 f. Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 2007
- MARTINS, S. E. M. ; MENDES, A. C. Hidrodinâmica da área de influência do porto de Vila do Conde, margem leste do rio Pará (Barcarena - Amazônia - Brasil) a partir do diagrama de Pejrup. **Resumo**. In: 44º Congresso Brasileiro de Geologia, 2008, Curitiba. 44º Congresso Brasileiro de Geologia livro de Resumos, 2008.
- NASCIMENTO M.S. **Minerais Pesados das Formações Ipixuna e Barreiras, região de Ipixuna, leste da sub-bacia de Cameté – NE do Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. 86p. Dissertação (Mestrado). 2002
- PEJRUP, M. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: Boer,P.L.; van Gelder,A. & Nio,S.D.(Ed). **Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies**. D.Reidel, Dordrecht. p.289 – 300. 1988.
- ROSSETTI D. F. & TRUCKENBRODT W. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, NE do Estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra. 59:704-716. 1989
- SOUZA, R. R de. **Modelagem numérica da circulação de correntes de maré na baía de Marajó e rio Pará (PA)**. Dissertação de mestrado. São Paulo: USP. 159p. 2006.
- SOUZA S. R. **Análise Textural de Sedimentos Arenosos e Identificação dos Minerais Pesados Contidos na Cobertura Sedimentar da Plataforma Continental do Pará**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências.76p. (Trabalho de Conclusão de Curso). 1999.

## **ANEXOS**

**Anexo A:** Carta de recebimento do artigo pela Revista Geociências da universidade Estadual Paulista – UNESP (Rio Claro)

revista **GEOCIÊNCIAS**

---

Ofc. geoc 15/2010

Rio Claro (SP), 22 de janeiro de 2010

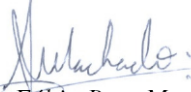
*Sr. Silvio Eduardo Matos Martins*  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prezado Pesquisador

Informamos que o artigo “**GEOMORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DE DEPÓSITOS RECENTES DA PORÇÃO SUPERIOR DA BAIJA DE MARAJÓ, ÁREA DE INFLUÊNCIA DO PORTO DE VILA DO CONDE, BARCARENA – PA**”, de autoria de Silvio Eduardo Matos Martins; Amílcar Carvalho Mendes & Iran Carlos Stalliviere Corrêa foi submetido para avaliação pelo corpo consultivo da revista Geociências.

*Cabe ressaltar que este documento, de forma alguma, certifica a certeza de uma futura publicação do artigo.*

*Atenciosamente*

  
*Dr. Fábio Braz Machado*  
Editor Adjunto - Revista Geociências



## Anexo B: Carta de recebimento do artigo pela revista Brasileira de Geociências da Sociedade Brasileira de Geologia.

### [RBG] Agradecimento pela Submissão

De: Alberto Pio Fiori <fiori@ufpr...> [Adicionar a contatos](#)

Terça-feira, 12 de Janeiro de 2010 18:24:09

Para: Silvio Eduardo Matos Martins <silvio\_matos@yahoo.com.br>

---

Silvio Eduardo Matos Martins,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "COMPOSIÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE MINERAIS PESADOS DE DEPÓSITOS SEDIMENTARES RECENTES DA PORÇÃO SUPERIOR DO ESTUÁRIO DO RIO PARÁ (BAÍA DE MARAJÓ, AMAZÔNIA)" para Revista Brasileira de Geociências. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/rbg/author/submission/16588>

Login: eduardomartins

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Alberto Pio Fiori  
Revista Brasileira de Geociências

---

Revista Brasileira de Geociências <http://www.ser.ufpr.br/rbg>

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)