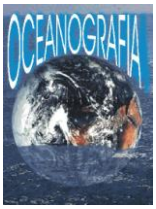


SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FÁBIO KIYOSHI WATANABE

Modificações morfológicas e caracterização textural dos sedimentos do Canal Norte do Rio Amazonas - Barra Norte

BELÉM - PA
2012

FÁBIO KIYOSHI WATANABE

Modificações morfológicas e caracterização textural dos sedimentos do Canal Norte do Rio Amazonas - Barra Norte

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Oceanografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de bacharel em Oceanografia.

Orientadora: Dra. Odete Fátima Machado da Silveira

BELÉM – PA
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

W324m Watanabe, Fábio Kiyoshi

Modificações morfológicas e caracterização textural dos sedimentos do Canal Norte do Rio Amazonas - Barra Norte / Fábio Kiyoshi Watanabe; Orientador: Odete Fátima Machado da Silveira – 2012

78 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em oceanografia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2012.

1. Cartas Náuticas - Amazônia. 2. Evolução Batimétrica. 3. Morfologia de Fundo.I. Silveira, Odete Fátima Machado da, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 20ª ed.: 912.811

FÁBIO KIYOSHI WATANABE

Modificações morfológicas e caracterização textural dos sedimentos do Canal Norte do Rio Amazonas - Barra Norte

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à Faculdade de Oceanografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Data da Defesa: 17/01/12

Conceito: EXCELENTE

Banca Examinadora:

Prof. Odete Fátima Machado da Silveira – Orientadora
Doutora em Geologia
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof. Marcelo Rollnic – Membro
Doutor em Ocanografia
Faculdade de Oceanografia (UFPA)

Prof(a). Susane Rabelo de Souza-Vieira - Membro
Doutoranda em Geologia e Geoquímica (UFPA)

A minha família pelo apoio incondicional
e compreensão nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo momento de felicidade que é concluir o curso de bacharelado em Oceanografia.

A minha guerreira mãe que sempre me acompanhou nos melhores e piores momentos, pai e mãe ao mesmo tempo, devo a você esse feito em minha vida. Agradeço a minhas irmãs por me aturarem em casa e me ajudarem no que era necessário, a minha avó que sempre foi como uma segunda mãe e me ajudou a ser a pessoa que sou hoje, ao meu tio Humberto que sempre me ensinou a ser um cidadão honesto e justo. Devo a vocês minha vitória.

Ao meu mestre e filósofo Daisaku Ikeda, sempre preocupado no bem das pessoas, grande humanista e lutador dos direitos humanos, aos amigos da organização BSGI (Brasil Soka Gakai Internacional), que sempre estiveram me apoiando e me ajudando-nos mais diversos problemas de minha vida. Em especial, ao Sr. José Maria, mais conhecido como Zé, meu muito obrigado por sempre está disponível para me dar conselhos, ao Adriano Vasco e Marcio Vinicius, grandes amigos e companheiros que irei pra sempre lembrar.

A minha querida professora e sua família, Odete Silveira que acreditou em mim por todos esses anos de curso mesmo nos melhores e piores momentos sempre sendo uma grande mãe nos acolhendo e protegendo, o meu muito obrigado.

Aos amigos do laboratório LIOG, grande parceiro, amigo e irmão, Artur Gustavo pelos momentos de amizade e momentos difíceis além da grande ajuda na confecção dos mapas, Priscila e Andrey que há muito tempo vem compartilhando momentos emocionantes na minha vida e me ajudando de todas as formas, Francielli Delavy, Lidiane Araújo, Nara Sena, Diego (preto) e o Diego (xará), ao tenente Aderson Gregório, dentre outros que fizeram parte também e já estão em outros mares.

Ao meu grande amigo Marcio Porfírio e família, que me acompanharam nesse caminhar do curso sempre me ajudando e fazendo companhia onde quer que estejam acompanhados com meus queridos amigos do PES, sempre comigo nas horas de diversão e descontração: Deyvison e família – famigerado LOST,

Robert – meu parceiro e amigo, Rodrigo – conhecido como Cajú, Renan – pará, meu querido amigo Adjalbas Marinho e sua digníssima esposa, Ellen Regina, sempre me mostrando o lado bom da vida.

Aos amigos feitos na turma de oceano 2007, que turminha bacana de se fazer parte, em muitas práticas, emoções e aventuras vividas juntos. Aos “irmãos”: Marcus Vinicius (vulgo malandro), Ernan, Simão, Antônio, Mauricio; as moças Gaby, Rennê, Bruna, Esther, Daiane, Inaê, dentre outras lindas sereias.

Aos amigos feitos durante o percurso no curso de Oceanografia, que tanto me deram e que ainda e sempre vão me trazer boas recordações no futuro, são eles: Kepler Lima – O cara, Otávio – Frejah, Paulo Vitor – PV (grande irmão), Raqueline Monteiro – Por sua amizade e sorriso, Ellery – “Jesus”, Luizinha – com seu sorriso e alegria, Leon – cara brother, Jordana – muito amiga e outros que estão fazendo parte de minha vida.

Aos amigos de companhia na fase biológica de minha vida, Jaime Carvalho, meu grande amigo de todas as horas que sempre esteve e está presente no meu caminhar, a professora Luiza Nakayama, sempre disposta a ajudar em tudo que era preciso, ao Ivan e o “Sid”, pelos ótimos momentos vividos juntos nas coletas.

E finalizando essa seção de agradecimentos, queria agradecer a minha querida e amada namorada, Keren Vasconcelos, e sua família, Arlinda (mãe), Jess (irmã) e Jr (irmão) que mesmo chegando a minha vida nos momentos finais da conclusão deste trabalho tiveram uma fundamental participação nele e nas decisões que tomei em minha vida, meus sinceros agradecimentos a eles e ao seu pai, Seu Vasconcelos que pouco conheci, mas que já nos deixa nessa vida sempre com boas recordações e momentos de felicidade e alegria.

“Tudo é loucura ou sonho no começo.
Nada do que o homem fez no mundo teve início de outra maneira.
“Mas já tantos sonhos se realizaram que não temos o direito de duvidar de nenhum.”

Monteiro Lobato

RESUMO

A região costeira do estado do Amapá está localizada na Foz do Rio Amazonas, é a principal via de escoamento de mercadorias, produtos industrializados e derivados de petróleo sendo um ambiente dinâmico de alta energia proporcionada pela grande variação de marés e a descarga do Rio Amazonas, principais controladoras do balanço sedimentológico da área. O presente trabalho objetiva a ampliação do conhecimento da dinâmica batimétrica e do desenvolvimento da morfologia de fundo na primeira década do século XXI da área do Canal Norte do Rio Amazonas, mediante a análise multitemporal de dados batimétricos coletados em campo no ano de 2007 e de cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) - anos de 2001 e 2010, confeccionando cartas de distribuição de profundidades e bloco diagramas da morfologia do fundo com vistas à avaliação multitemporal. Um dos resultados mais evidentes foi uma tendência dos bancos no ano de 2001 sofrerem migrações/erosão se deslocando para norte da área de estudo, havendo um aumento da profundidade mais ao sul já nos anos de 2007 e 2010.

Palavras-Chave: Cartas Náuticas - Amazônia. Evolução Batimétrica. Morfologia de Fundo.

ABSTRACT

The coastal region of the state Amapá located at the mouth of Amazonas River, is the main way to outlet industrialized products and petroleum derived, being a dynamic environment with a large energy provided by the high tidal variation and discharge of Amazonas River, main controllers of the balance sedimentological at area. The work presented aims in broadening knowledge bathymetric dynamics and development bed morphology. In the first decade of this century the North Channel area at Amazonas River, by multitemporal analysis bathymetric, data collected at field in 2007, and nautical letters of Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) – in years 2001 and 2010, making maps of distribution depths and block diagrams of morphology bed in order to multitemporal rating. One of the most evident results was a tendency that sandbanks, in 2001, are suffering migration/erosion moving by north of the study area, with a increasing depth to south by the years 2007 and 2010.

Key words: Nautical Charts – Amazonia. Bathymetric Evolution. Bottom Morphology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01- Mapa de localização da área de estudo, Barra Norte – Canal do Curuá. 18

Figura 02- Distribuição dos depósitos sedimentares sobre a plataforma amazônica 27

Figura 03- Distribuição das estruturas sedimentares do delta subaquático baseada em informação de campo e análises radiográficas de laboratório. Os leitos de lama e as fácies de areia consistem de leitos de lama sutilmente laminados e leitos interlaminados de lama e areia (cada um de ~10 cm de espessura), o qual resulta da modulação semidiurna e quinzenal da maré 28

Figura 04: Mapa do Cráton Amazônico e suas províncias..... 29

Figura 05: Bacia hidrográfica do rio Amazonas 30

Figura 06: Arcabouço estrutural da Bacia da Foz do Amazonas..... 31

Figura 07: Formas geométricas do canal fluvial 33

Figura 08: Fluxograma de atividades empreendidas..... 35

Figura 09: Imagens das estações de coleta planejadas para o campo. 36

Figura 10: Imagens ilustrativas no período da coleta. Em **A - I**magem da embarcação NHo. Garnier Sampaio, **B / C** – Perspectiva do amostrador improvisado para a coleta e **D –** Modelo da etiqueta utilizada e amostra..... 37

Figura 11: Etapas do trabalho laboratorial: Em A - Secagem das amostras, **B** – Descrição macroscópica e desagregação do material, **C** – Mufla para queima da matéria orgânica e em **D** – Visualização do dessecador e cadinhos..... 39

Figura 12: Equipamentos utilizados na granulometria. Em **A** – Balança eletrônica de precisão, **B** – Ultra-som utilizado na homogeneização das amostras, **C** – Centrifuga para a separação Silte/Argila e em **D –** Estufa para secagem das amostras..... 40

Figura 13: Em **A** peneira para a separação Silte e Argila da areia e em **B** Perspectiva do agitador e das peneiras utilizadas..... 41

Figura 14: Fases de confecção dos mapas batimétricos..... 44

Figura 15: Carta batimetrica e bloco diagrama 3D do ano de **2001** apresentando na carta a distribuição das profundidades e no bloco o dimensionamento da morfologia do fundo no Canal do Curuá – Barra Norte..... 47

Figura 16: Carta batimetrica e bloco diagrama 3D do ano de **2007** apresentando na carta a distribuição das profundidades e no bloco o dimensionamento da morfologia do fundo no Canal do Curuá – Barra Norte..... 48

Figura 17: Carta batimetrica e bloco diagrama 3D do ano de **2010** apresentando na carta a distribuição das profundidades e no bloco o dimensionamento da morfologia do fundo no Canal do Curuá – Barra Norte..... 49

Figura 18: Carta Batimétrica da região do estudo mostrando as principais feições morfológicas de fundo..... 50

Figura 19: Carta Batimétrica da região do estudo mostrando a delimitação dos perfis de **A – K** e as principais feições morfológicas de fundo..... 52

Figura 20: Modificações morfológicas e batimétricas ocorridas na Barra Norte - Canal do Curuá nos períodos de 2001, 2007 e 2010 nos perfis de **A** - **D**..... 54

Figura 21: Modificações morfológicas e batimétricas ocorridas na Barra Norte - Canal do Curuá nos períodos de 2001, 2007 e 2010 nos perfis de **E** – **H**..... 56

Figura 22: Modificações morfológicas e batimétricas ocorridas na Barra Norte - Canal do Curuá nos períodos de 2001, 2007 e 2010 nos perfis de **I** - **K**..... 57

Figura 23: Gráfico da distribuição granulométrica de cada amostra..... 59

Figura 24: Gráfico da classificação granulométrica pela média das amostras analisadas..... 61

Figura 25: Gráfico de distribuição do percentual de matéria orgânica..... 62

Figura 26: Classificação granulométrica pelo diagrama triangular de Shepard (1954) em cada identificação de amostras..... 64

Figura 27: Carta de distribuição pontual da classificação descritiva feita por Shepard (1954), cada amostra é identificada por uma determinada coloração que a conceitua dentro das classes na tabela..... 65

Figura 28: Gráfico do percentual granulométrico a partir de Shepard..... 66

Figura 29 Classificação granulométrica pelo diagrama triangular de Pejrup (1988) em cada identificação de amostras..... 67

Figura 30 Carta de distribuição pontual da classificação descritiva feita por Pejrup (1988), cada amostra é identificada por uma determinada coloração e formato que a conceitua dentro das classes hidrodinâmicas na tabela..... 68

Figura 31 Gráfico do percentual granulométrico a partir de Pejrup..... 69

Figura 32 Comparação entre os diagramas de Shepard (NITTROUER et al., 1983) modificado por Gabioux (2002) e o diagrama apresentado no trabalho..... 70

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Fatores de mudanças do nível do mar, de curto período, ao longo da zona costeira e estimativa de seus efeitos 24

Tabela 02: Escala de Tamanho de grão em mm e phi (φ)..... 42

Tabela 03: Informações técnicas da base cartográfica utilizada..... 43

Tabela 04: Amostras coletadas no Canal Norte e resultados estatísticos das análises granulométricas e do percentual de matéria orgânica..... 59

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO**..... 15

2 **JUSTIFICATIVA**..... 19

3 **OBJETIVOS**..... 20
3.1 OBJETIVO GERAL..... 20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 20

4 **CARACTERISTICAS HIDROOCEANOGRÁFICAS**..... 21
4.1 PADRÃO CLIMÁTICO..... 22

5 **LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**..... 25
5.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS..... 25
5.1.1 **Geologia do Quaternário/Holoceno da Amazônia**..... 25
5.1.2 **Sedimentologia da Área**..... 25
5.2 CRATON AMAZÔNICO..... 29
5.3 BACIA AMAZÔNICA..... 30
5.4 BACIA DA FOZ DO AMAZONAS..... 31
5.5 SISTEMA FLUVIAL..... 32
5.6 LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO (BATIMETRIA)..... 33

6 **MATERIAIS E MÉTODOS**..... 35
6.1 CAMPO..... 36
6.2 LABORATÓRIO..... 37
6.3 SEDIMENTOLOGIA..... 38
6.4 CONFECÇÃO DAS CARTAS BATIMÉTRICAS..... 43
6.4.1 **Aquisição dos dados batimétricos** 43
6.4.2 **Digitalização das cartas náuticas** 43
6.4.3 **Geração de mapas de contornos batimétricos e em superfície 3D**..... 44
6.4.4 **Perfis batimétricos transversais**..... 45

7 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**..... 46
7.1 CARTA BATIMÉTRICA E BLOCO DIAGRAMA 3D..... 46
7.2 EVOLUÇÃO DA BATIMETRIA..... 50
7.3 ANÁLISE BATIMÉTRICA DOS PERFIS TRANSVERSAIS..... 52
7.4 SEDIMENTOLOGIA..... 58
7.5 MATÉRIA ORGÂNICA..... 61
7.6 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA..... 62
7.6.1 **Classificação por Shepard**..... 62
7.6.2 **Classificação por Pejrup**..... 66
7.7 COMPARAÇÃO DO DIAGRAMA DE SHEPARD COM ESTUDOS REALIZADOS NA ÁREA..... 70

8 **CONCLUSÕES**..... 71
REFERÊNCIAS..... 72

1 INTRODUÇÃO

A costa norte do Amapá se apresenta como uma zona muito dinâmica (alternando períodos de erosão e deposição), com bancos e ilhas consolidados e expostos (ou parcialmente expostos) nas baixa-mares (ALLISON et al., 1995). Mais ao norte, os sedimentos são transportados ao longo da costa de Guiana na forma de grandes bancos de lama (LEFEBVRE et al., 2004).

Segundo a definição clássica de Pritchard (DYER, 1997) um estuário é um corpo de água semiconfinado que tem ligação livre com o mar e onde ocorre a mistura das águas marinhas e fluviais, estas últimas provenientes da drenagem do interior das terras. Em um sentido geral e amplo, se pode dizer que os estuários são caracterizados como filtros para uma fração significativa de materiais particulados e dissolvidos, os quais são trazidos pelos rios em direção aos oceanos (SHUBEL; KENNEDY, 1984). Entretanto, cada estuário apresenta particularidades que se encontram associado diretamente à morfologia de fundo, ao regime de maré e a descarga fluvial, além de outros fatores que poderão ser mais ou menos importantes para cada tipo de estuário, tais como ondas e ventos (SCHETTINI, 2001).

Na região da desembocadura do Amazonas, a perda de capacidade de transporte de areia pelo rio propicia a deposição contribuindo na redução de profundidade e formação de bancos. Registros batimétricos de (OLIVEIRA; VIZON, 2004) mostraram uma taxa de deslocamento dos bancos de areia aproximadamente igual a 250 m/ano. No entanto os autores não chegaram a uma conclusão dos fatores que levam a essa periodicidade na mudança de direção e migração dos bancos.

A descarga de sedimentos do Rio Amazonas é estimada em 0,6 a 1,3 x 10^9 toneladas por ano, em Óbidos, limite superior do estuário havendo uma predominância de 85% a 95% de silte e argila. A perda da capacidade de transporte na foz do rio propicia a migração de bancos de areia, havendo necessidade do levantamento periódico no canal navegado. Os sedimentos finos oriundos do rio encontram uma zona de máxima turbidez funcionando como uma barreira formando camadas de lamas fluidas com concentrações na ordem de 10 a 10^2 g/L (KINEKE et al., 1996).

As primeiras observações do sedimento do leito do rio Amazonas foram feitas em 1843, pelo tenente William Lewis Herndon, da Marinha dos Estados Unidos, quando navegou o rio de suas cabeceias até sua boca, sondando suas profundidades e anotando a natureza das partículas coletadas em um peso de sondagem com muita graxa no fundo (HERNDON, 1853). Após coletas ao longo do rio o tenente Herndon encontrou uma composição de areias e certa quantidade de cascalho devido à provável proximidade com afloramentos locais nos terraços adjacentes, o que foi verificado também por Oltman (1968) e Nordin et al. (1977).

A foz do Rio Amazonas representa uma importante via para a navegação sendo um importante canal de escoamento de produtos e derivados de petróleo do Brasil. A sua importância econômica cresce progressivamente a preocupação dos navegantes em relação às incertezas no estabelecimento das profundidades e conseqüente ameaça de derrames de petróleo e do seu impacto ambiental no ambiente local. Do ponto de vista econômico e social, o Rio Amazonas é uma importante via fluvial ligando a área de produção de petróleo em Urucu (na parte superior da bacia Amazônica brasileira) e a refinaria de petróleo em Manaus (AM), com várias cidades onde o óleo é fornecido por navios.

A bacia amazônica tem 50.000 km de rios navegáveis para navios de carga de até 1.000 toneladas e cerca de 10.000 km para navios maiores (DOMINGUES, 2004). O rio desempenha um papel importante para a região, atingindo áreas remotas, onde não haja outro meio de transporte existente. Ao longo dos rios até chegar às principais cidades a navegação é lucrativa também em termos de transporte de passageiros com maior relação tonelada/km ou passageiros/km. Um exemplo é a Zona Franca de Manaus, onde a distância até a desembocadura do amazonas é cerca de 1.500 km de rios navegáveis, concentrando cerca de 50% das cargas marítimas que passam pela foz do Amazonas que em 2005, ano intermediário a análise desse trabalho, foram contabilizados 1.143 navios. (COCONTRAM, 2006).

O canal Norte, na foz do rio Amazonas, é considerado um caminho crítico na navegação. Sua batimetria é regularmente feita pela Marinha do Brasil (DHN). Essa região é altamente dinâmica, por exemplo, a ilha do Bailique, localizada perto do canal mostrou em 1997-2000 um acréscimo da linha de costa de quase 10 km (FERNANDES et al, 2007).

Outros locais de importância são os terminais portuários como o Porto de Santana (Amapá), que constitui locais de estocagem e transporte de derivados de petróleo além de produtos importados que abastecem as regiões locais ou tem destino à Zona Franca de Manaus, através do canal Norte do rio Amazonas. Com isso, tentativas de prevenção ou reparo no caso de eventuais acidentes nessa faixa, requerem a identificação e delimitação dos bancos em resposta a dinâmica existente (CDSA).

A construção do Porto de Santana (antigo Porto de Macapá) foi iniciada em 1980, com a finalidade original de atender à movimentação de mercadorias por via fluvial, transportada para o Estado do Amapá e para a Ilha de Marajó. Todavia, pela sua posição geográfica privilegiada, tornou-se uma das principais rotas marítimas de navegação, permitindo conexão com portos de outros continentes, além da proximidade com o Caribe, Estados Unidos e União Européia, servindo como porta de entrada e saída da região amazônica (CDSA).

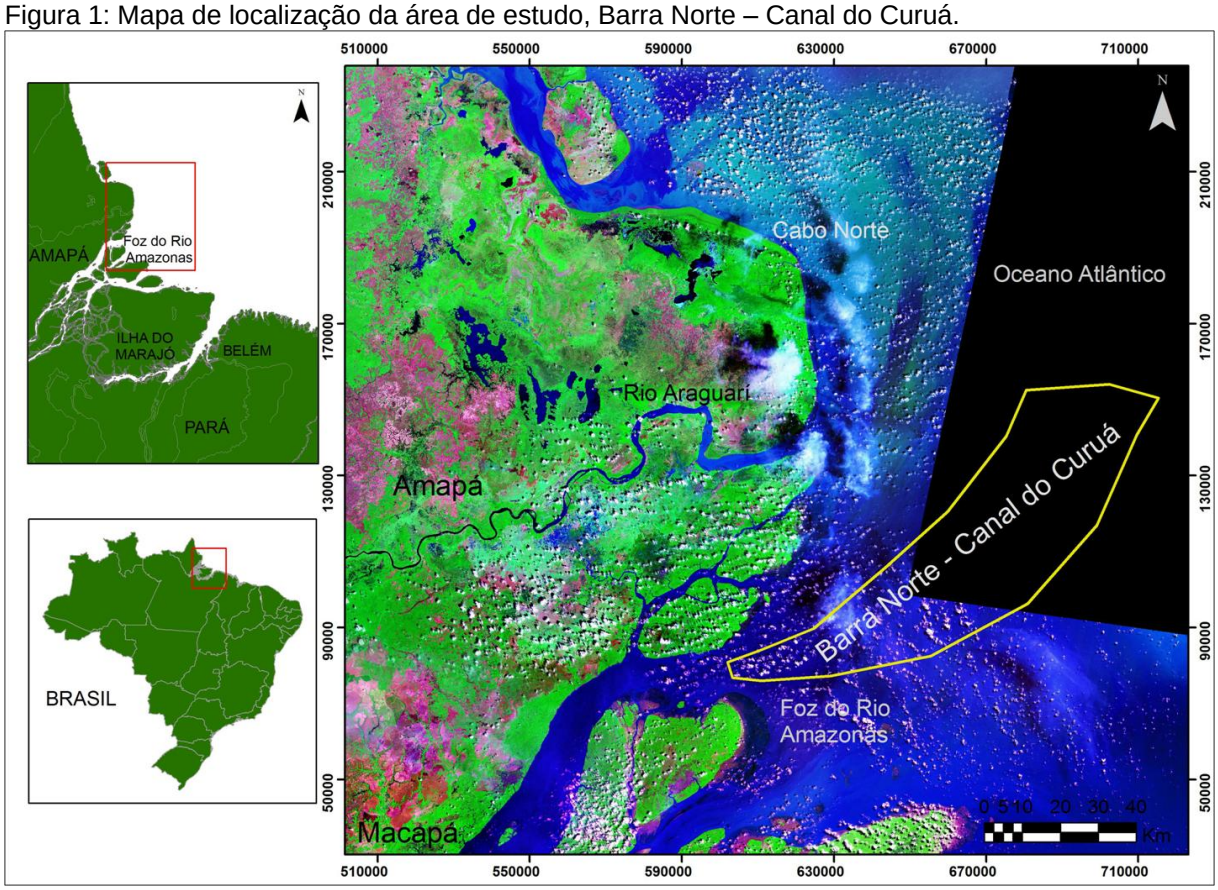
A inauguração oficial das instalações ocorreu em 6 de maio de 1982. A partir de 14 de dezembro de 2002, através do Convênio de Delegação nº 009/02 do Ministério dos Transportes e a Prefeitura de Santana, com a interveniência da Companhia Docas do Pará, foi criada a Companhia Docas de Santana, empresa pública de direito privado para exercer a função de Autoridade Portuária.

Em se tratando de trabalhos na área da Oceanografia Geológica e Geofísica realizadas por (VITAL, 2005) a autora mostra que em águas rasas as pesquisas tendem a serem mais detalhadas, encontrando amplas variações locais de feições, tipos e distribuição de sedimentos. Em águas profundas onde se considera uma ampla área do fundo oceânico, geralmente existe mais interesse nas mudanças de tipos de sedimento e de feições em grande escala.

A foz do Rio Amazonas foi o palco de diversos trabalhos de pesquisa de cunho nacional e internacional, que apresentaram um conjunto de dados importantes acerca dos processos hidrodinâmicos e geológicos na região (CT-HIDRO, 2008; GRATIOT et al., 2005; KUEHL, 1996; LENTZ, 1995; NITTROUER et al., 1995, 1996; POSEWANG et al., 1995; SILVEIRA et al., 1992; SOMMERFIELD et al., 1995; VITAL et al., 1998, 1999).

Dentro desse contexto obtiveram-se resultados sedimentológicos e foram confeccionadas cartas batimétricas, na região entre as coordenadas de 01º 18', 00 N / 50º07', 00 W e 0º37', 00 N / 49º33', 00 W no Canal Norte, localizado na foz do Rio Amazonas, (Fig. 1) durante a expedição com a Marinha do Brasil na embarcação NHo. Garnier Sampaio.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, Barra Norte – Canal do Curuá.



2 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho objetiva a ampliação do conhecimento da dinâmica sedimentar e do desenvolvimento da morfologia de fundo da área que compreende a região do Canal Norte do Rio Amazonas, local de intenso tráfego (entrada de navios) marítimo e área de muitos acidentes e encalhes, mediante a análise multitemporal de dados batimétricos coletados em campo e de cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e vem, portanto, contribuir para o melhor entendimento do atual posicionamento fisiográfico dos bancos e canais de navegação e qual sua tendência evolutiva.

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Mostrar que na última década, o Canal Norte do Rio Amazonas vem sendo alvo de modificações naturais em sua distribuição de profundidades e provavelmente, com relação à distribuição dos sedimentos.

3.2 ESPECÍFICO

Confeccionar quadro de linha do tempo em relação à evolução do conhecimento sobre o tema na área de estudo;

Confeccionar cartas de distribuição de profundidades com base em diferentes datas de levantamentos disponíveis na DHN, com vistas à avaliação multitemporal;

Confeccionar carta de distribuição de sedimentos na área de levantamento da Barra Norte executada pela MB.

4 CARACTERÍSTICAS HIDROOCEANOGRÁFICAS

A circulação de água na área costeira do rio Amazonas representa uma interação do tipo estuarino, sistema frontal de água fluvial em direção ao mar, com fortes correntes rotatórias de marés (norte - noroeste, sul - sudoeste) e correntes superficiais (noroeste, sudoeste). Adicionalmente, a maior parte do fluxo de calor para o Atlântico Norte passa pela ou próximo à plataforma Amazônica, sob a forma da Corrente Norte Brasileira (CNB) (NITTROUER ;DEMASTER, 1986). No verão, quando a Zona de Convergência Intertropical está em uma latitude acima da foz do Amazonas, os ventos locais são fracos e o sistema Corrente Norte Brasileira/Contra-Corrente Norte Equatorial advecta a água doce para noroeste e nordeste criando uma grande pluma (MASSON; DELECLUSE, 2001).

Segundo Villwock (2005) a dinâmica costeira é a principal responsável pelos processos de erosão e/ou deposição que mantêm as áreas litorâneas em constante transformação. Os ventos, as ondas por eles geradas e as correntes que se desenvolvem quando as ondas chegam à linha de costa atuam ininterruptamente sobre os materiais que aí encontram, erodindo, transportando e depositando sedimentos. A esses processos somam-se os efeitos das marés e das ressacas produzidas pelas tempestades.

Muitos dos estuários do mundo são influenciados, em maior ou menor grau, pelas correntes de marés. A energia destas correntes de maré serve como mecanismo de mistura entre as águas doces provenientes dos rios e as águas salgadas oriundas do ambiente marinho, bem como a resuspensão, transporte e deposição dos sedimentos, a formação de canais e bancos Corrêa (2005).

As marés são muito amplas na Plataforma Continental Amazônica e podem chegar a 10 m na foz do rio e criar o fenômeno conhecido como pororoca (ELIAS, 2000). De acordo com Sternberg et al. (1996), durante análises da estabilidade do fundo e dos fluxos oscilatórios, as correntes de maré foram capazes de ressuspender o sedimento 91% das vezes. Densas camadas de lamas fluidas ocorrem em fortes fluxos de maré na porção interna da plataforma, em regiões de fortes frentes de salinidade associadas com a descarga do rio Amazonas (GEYER et al., 1991). As marés são semi-diurnas e mensalmente exibe uma forte variação de amplitude

(sizígia e quadratura), o que contribui para a variação da estratificação (GEYER et al., 1996).

Outro fator importante na linha de costa é a deriva litorânea que pode ser considerado como o principal processo responsável pelas migrações laterais das desembocaduras fluviais, lagunares e estuarinas ao longo da linha de costa. Flexor *et al*. (1984) mostram que o seu bloqueio, causado pelas correntes fluviais, é o principal mecanismo que conduz à construção de planícies costeiras deltaicas que ocorrem na costa nordeste e leste da Bahia (DOMINGUEZ *et al*., 1983).

Para chegar à plataforma continental os sedimentos fluviais têm que ultrapassar vários ambientes costeiros que agem como armadilhas retentoras desse material, como os próprios estuários, baías, deltas e planícies de maré. Uma vez sobre a plataforma os sedimentos podem ser distribuídos por vários processos hidrodinâmicos, ondas, marés, correntes oceânicas e correntes de densidade, levando também a perda de parte do material para o oceano profundo (PALMA, 1979).

A deposição moderna das plataformas continentais é tipicamente lamosa, embora areia fina e silte grosso possam ser supridos durante tempestades intensas, formando depósitos conhecidos como tempestitos. A maior fonte de sedimentos lamosos supridos para a plataforma é representada pelo material em suspensão trazido pelos rios. O volume de sedimentos que chega a plataforma depende da distância entre a fonte e a foz do rio, da disponibilidade de sedimentos finos na área fonte e da capacidade de transporte do rio Vital (2005).

4.1 PADRÃO CLIMÁTICO

Os ventos predominantes da área são os ventos alísios. O máximo de estresse do vento corresponde aos ventos alísios de NE de dezembro a abril. A importância da ação dos ventos alísios reside na influência indireta sobre os sedimentos da plataforma continental. O movimento orbital das ondas superficiais de gravidade geradas por estes ventos produz um fluxo oscilatório, que pode atingir o fundo e influenciar no movimento dos sedimentos. Os ventos alísios também têm um papel

importante, no tempo de residência da água e dos sedimentos na pluma do Amazonas (GEYER et al., 1996).

As modificações naturais de curto período, nas áreas costeiras, estão intrinsecamente relacionadas com a variação do nível do mar (Tab. 1). De um modo geral pode-se dizer que os principais agentes naturais que produzem essas modificações nas áreas costeiras e planícies tropicais úmidas estão ligados a fatores climáticos, astronômicos, oceanográficos e meteorológicos, globais, regionais e locais, que desencadeiam processos modelando e remodelando a paisagem costeira e conseqüentemente os seus ecossistemas, mantendo esta área em constante transformação (SANTOS, 2002).

Tabela 1: Fatores de mudanças do nível do mar, de curto período, ao longo da zona costeira e estimativa de seus efeitos

Causas	Escala de Tempo P=Período	Efeito Vertical
Mudanças Periódicas do Nível do Mar		
-marés astronômicas	6-12 horas P	0,2 a +10 m
-marés de longo período	14 meses P	
Flutuações Oceanográficas e Meteorológicas		
-pressão atmosférica		
-ventos (ondas de tempestades)	1-5 dias	acima de 5 m
-evaporação e precipitação	dias a semanas	
-topografia superficial do oceano (mudanças na densidade da água e correntes)	dias a semanas	acima de 1 m
-El Niño	6 meses a cada 5-10 anos	acima de 60 cm
Variações Sazonais		
-balanço sazonal de água entre os oceanos (Atlântico, Pacífico e Índico)		
-variações sazonais no gradiente de água superficial		
-escoamento dos rios/inundação	2 meses	1 m
-mudança sazonal na densidade de água (temperatura e densidade)	6 meses	0,2 m
-seiches	minutos-horas	acima de 2 m
Terremotos		
-tsunamis (ondas de longo período geradas catastroficamente)	Horas	acima de 10 m
-mudanças abruptas no nível da terra	Minutos	acima de 10 m

Fonte: (**USACE, 1995**).

5 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

5.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

5.1.1 Geologia do Quaternário/Holoceno da Amazônia

O estuário amazônico é típico de regiões de planície costeira que se formaram durante a transgressão do mar no Holoceno, que inundou os vales de rios. Esses estuários são relativamente rasos, raramente não excedendo 30 m de profundidade (CUNHA et al., 2006). A área de seção transversal do rio, em geral, aumenta estuário abaixo, às vezes de forma exponencial e a configuração geométrica tem a forma de “V”, em que a razão entre a largura/profundidade é grande. O rio Amazonas, nos trechos estudados da zona estuarina está na faixa de 25 m a 40 m profundidade (MIRANDA et al., 2002; CUNHA, 2006).

Dois conjuntos de seqüência compõem a estratigrafia da bacia da foz do Amazonas. Na seqüência rift são característicos acúmulos de siliclásticos em grandes grabens que apresentam tafrogenia de duas ocasiões distintas: no Triássico (associação à abertura do Atlântico Norte) e no Aptiano-Albiano (120 Ma – rift precursor do oceano Atlântico Sul). A seqüência rift compreende as formações Calçoene e Caciporé (Brandão, 1990; Brandão; Feijó, 1994). Já as formações Limoeiro, Marajó, Amapá, Travosas e o grupo Pará compõem as seqüências de margem passiva, que vão do Cretáceo Superior até o Quaternário e abrangem siliclásticos finos transgressivos, arenitos e folhelhos progradantes do Cretáceo Superior, siliclásticos e carbonatos do Terciário, e siliclásticos finos progradantes do Quaternário (BRANDÃO, 1990; BRANDÃO; FEIJÓ, 1994, SCHALLER, 1971).

5.1.2 Sedimentologia da Área

Em ambientes estuarinos com elevadas concentrações de sedimentos finos em suspensão diversos fatores governam a estrutura vertical das suspensões de sedimento coesivo, como por exemplo, os efeitos da mistura hidrodinâmica originada principalmente pela ação da maré, a velocidade de sedimentação e as propriedades físicas e químicas do fluido e do sedimento. A formação de lutoclinas (fortes

gradientes de concentração de sedimentos) e de camadas de lama fluida (camadas de sedimento em suspensão de elevadas concentrações nas proximidades do fundo) são características destes ambientes. O perfil vertical de concentrações do sedimento em suspensão apresenta geralmente um amplo intervalo de valores (4 a 5 ordens de magnitude) entre a superfície da água e o leito coesivo e fortes gradientes nas proximidades do fundo, dividindo o escoamento em camadas, sendo a parte superior turbulenta e a inferior predominantemente viscosa (ROSS; MEHTA, 1989).

A plataforma Amazônica apresenta as características de um ambiente estuarino de elevada concentração de sedimentos onde a presença de uma zona de turbidez máxima e a existência de camadas de lama foi registrada por diversos pesquisadores (FAAS, 1985, GIBBS, 1973, KINEKE et al., 1995). A presença do sedimento se deve à elevada carga em suspensão (entre 1,1 e 1,3 x 10^9 toneladas por ano) transportada pelo rio Amazonas (MEADE et al., 1985) e aos diferentes mecanismos de acumulação destes sedimentos que ocorrem na região da plataforma continental Amazônica.

Em relação à distribuição do sedimento fino, as características dos depósitos sedimentares na plataforma Amazônica foram estudadas por diversos pesquisadores nos últimos 30 anos. Gibbs (1973) apresenta mapas de distribuição das porcentagens de sedimento fino (< 2 μ) e grosso (> 20 μ) em parte da plataforma norte da América do Sul. Os resultados foram obtidos de análises granulométricas realizadas com amostras de fundo coletadas durante 1963 e 1971 sobre a plataforma, ao longo da costa norte do Brasil (desde a desembocadura do rio Amazonas a Venezuela). A maioria das amostras da parte interna da plataforma brasileira caracterizou-se por porcentagens maiores de 60 % de materiais finos (< 2 μ), ao contrário das coletadas na parte externa onde o sedimento fino constituiu menos de 10 % e o material grosso (> 20 μ) mais de 80 %.

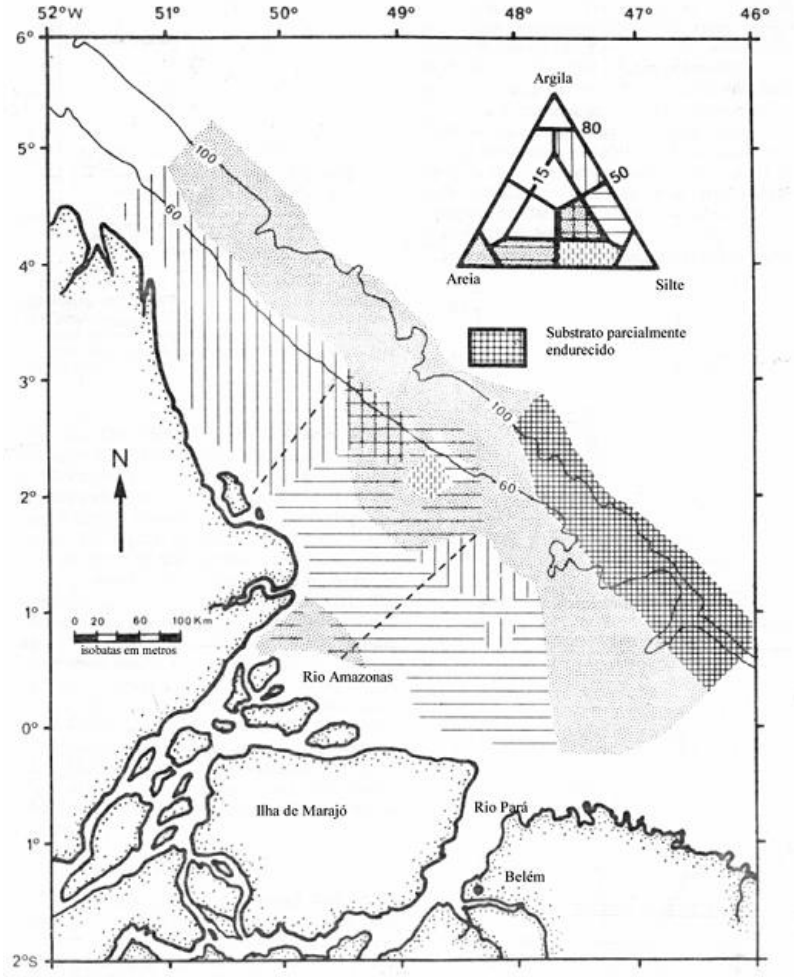
NITTROUER et al. (1983) apresenta três tipos de depósitos sedimentares na plataforma Amazônica:

(1) a plataforma externa com 90 % de areias finas (correspondendo à área pontilhada na Fig. 2);

(2) a plataforma interna com lamas constituídas por 95 % de silte e argila (correspondendo à área tracejada na Fig. 2). Segundo Kuehl et al. (1982), a acumulação do sedimento fino em suspensão transportado pelo rio Amazonas ocorre em um delta subaquático sobre a plataforma interna;

(3) um corredor estendendo-se na frente da desembocadura do rio Amazonas com lamas e areias interlaminadas (correspondendo, na Fig. 2, à área com superposição da linha tracejada com o pontilhado).

Figura 2: Distribuição dos depósitos sedimentares sobre a plataforma Amazônica

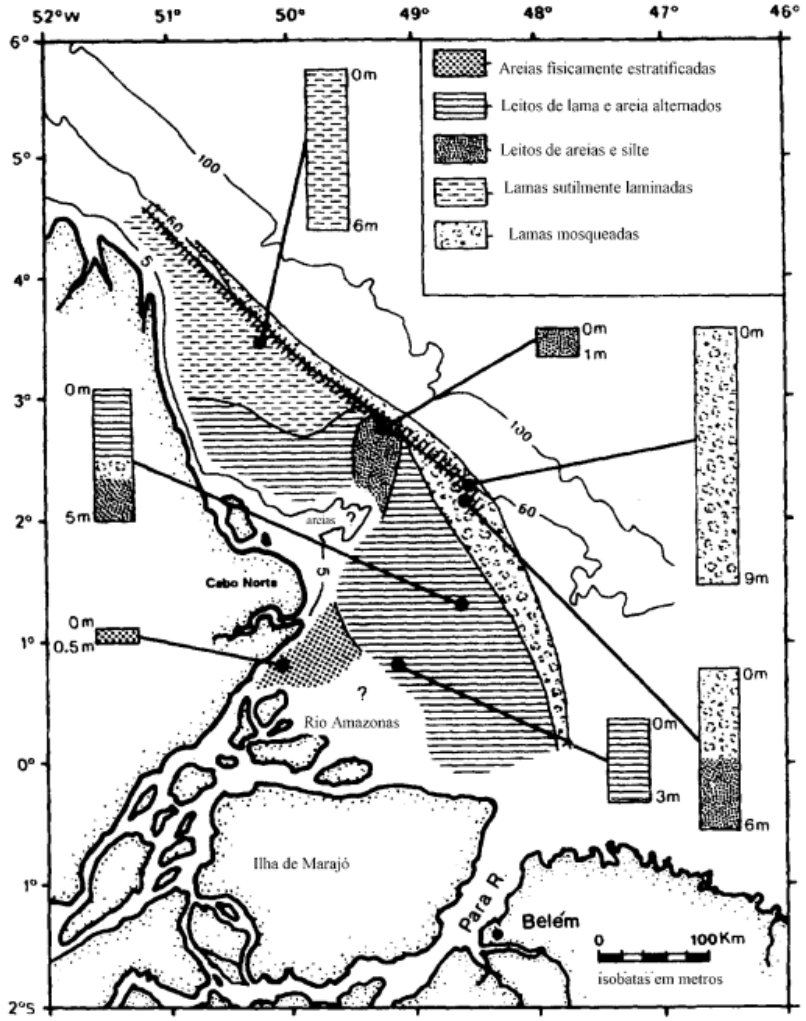


Fonte: Modificado por Gabioux (2002) de Nittrouer et al. (1983).

Uma distribuição geral das estruturas sedimentares no delta subaquático (na parte interna e média da plataforma) é apresentada por Kuehl et al. (1986, 1996) baseada em informação de campo e análises radiográficas de laboratório (Fig. 3). Na região de profundidades menores do que 40 m alternam-se leitos de lama (com laminações

de silte) e camadas de lama e areia (denominados na Fig. 3 como *interbedded mud and sand*). No sentido norte da plataforma os leitos de lama e areia são substituídos por lamas sutilmente laminadas (faintly laminated mud). Na região da plataforma entre as isóbatas de 40 e 70 m apresentam-se leitos de lamas mosqueadas (mottled mud). Em frente à desembocadura do rio Amazonas o leito é de areias estratificadas (stratified sand) e nas proximidades de cabo Norte é de areias e silte (proximal shelf sandy silt).

Figura 3: Distribuição das estruturas sedimentares do delta subaquático baseada em informação de campo e análises radiográficas de laboratório. Os leitos de lama e as fácies de areia consistem de leitos de lama sutilmente laminados e leitos interlaminados de lama e areia (cada um de ~10 cm de espessura), o qual resulta da modulação semidiurna e quinzenal da maré



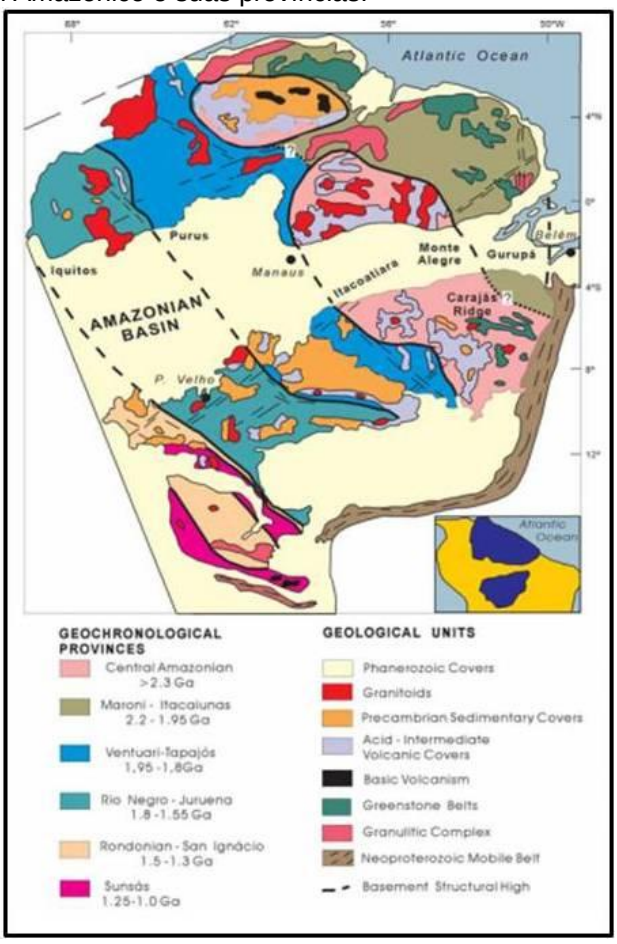
Fonte: Modificado por Gabioux (2002) de Kuehl et al. (1986).

5.2 CRATON AMAZÔNICO

É um dos maiores crátons do mundo, composto de dois escudos pré-cambrianos chamados Guaporé e Guiana, é cercado por cinturões orogênicos do Neo-proterozoico. Está localizada ao norte da América do Sul, englobando toda a costa norte de Belém – PA até a Guiana Francesa. Está divido em 6 províncias geocronológicas principais: Amazônia Central; Maroni-Itacaiúnas; Ventuari-Tapajós; Rio Negro-Juruena; Rondonian-San Ignácio; Sunsás. Estas províncias possuem grande variação em sua história geológica e composição metamórfica (VITAL, 1998).

Os padrões geocronológicos indicam que o proto-cráton era de fato um conjunto de pequenos continentes independentes que foram fundidos em paleos cinturões orogênicos do Paleo-proterozoico entre 2.2 e 1.95 Ga (VITAL, 1998).

Figura 4: Mapa do Cráton Amazônico e suas províncias.



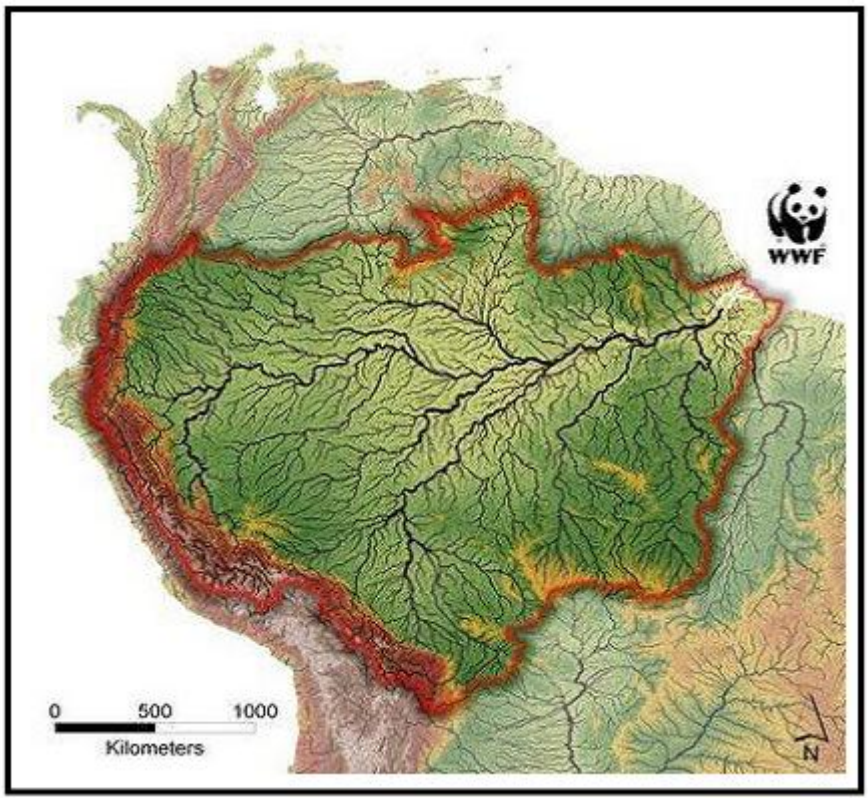
Fonte: Gabioux (2002).

5.3 BACIA AMAZÔNICA

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA) a bacia hidrográfica do rio Amazonas é constituída pela mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, ocupando uma área total da ordem de 6.110.000 km², desde suas nascentes nos Andes Peruanos até sua foz no oceano Atlântico (na região norte do Brasil). Esta bacia continental se estende sobre vários países da América do Sul: Brasil (63%), Peru (17%), Bolívia (11%), Colômbia (5,8%), Equador (2,2%), Venezuela (0,7%) e Guiana (0,2%). Em termos de recursos hídricos, a contribuição média da bacia hidrográfica do rio Amazonas, em território brasileiro, é da ordem de 133.000 m³/s (73% do total do País). Adicionalmente, a contribuição de territórios estrangeiros para as vazões da região hidrográfica é da ordem de 76.000 m³/s.

Dentre os principais rios brasileiros que fazem parte da Bacia Amazônica estão: O rio Amazonas, Negro, Solimões, Xingu, Madeira, Tocantins, Japurá, Juruá, Purus, Tapajós, Branco, Jarí e Trombetas (ANA).

Figura 5 - Bacia hidrográfica do rio Amazonas

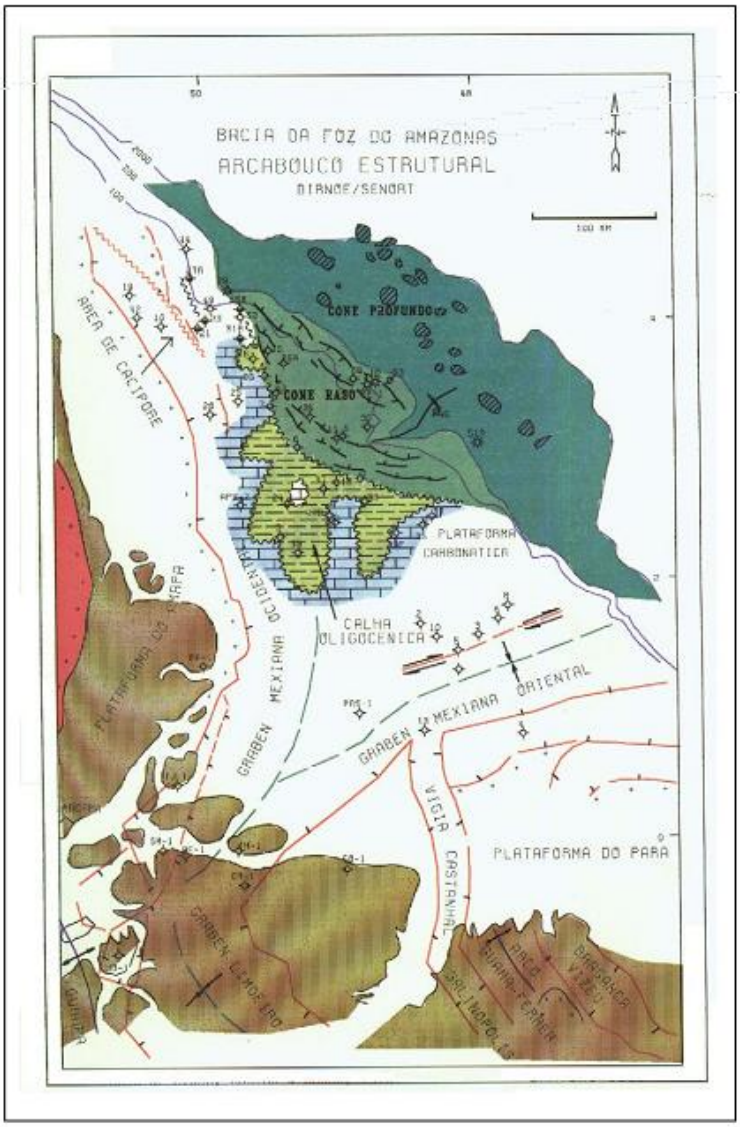


Fonte: www.wwf.org.br.

5.4 BACIA DA FOZ DO AMAZONAS

A Bacia da Foz do Amazonas está situada no extremo norte do Brasil, entre os estados do Amapá e Pará. A área de sedimentação se estende da Plataforma Continental ao Cone Profundo do Amazonas (GROSSMANN, 2002) e sua evolução iniciou no Triássico-Jurássico em conexão com os processos de formação do Atlântico Central (RODARTE; BRANDÃO 1988). De acordo com os estudos de Ayres neto et al., (2009), a geologia da área de estudo, a bacia da foz do Amazonas, tem sua formação a partir da abertura do oceano Atlântico e com a conseqüente reversão para oeste da drenagem do Amazonas, devido à elevação dos Andes.

Figura 6: Arcabouço estrutural da Bacia da Foz do Amazonas



Fonte: Brandão; Feijó, 1994.

A área de sedimentação da bacia chega a 360.000 km^2, estendendo-se da plataforma continental (200.000 km^2) ao cone profundo do Amazonas (160.000 km^2). Fisiograficamente, a bacia da foz do Amazonas está dividida em plataforma continental, até a cota batimétrica de 200 m, e no cone do Amazonas, que se estende até aproximadamente 4500 m (DAMUTH, 1975), correspondendo em média a 45% da área total da bacia.

5.5 SISTEMA FLUVIAL

Os rios são cursos naturais de água doce, na maioria das vezes com canais definidos e fluxo permanente ou sazonal que migram em direção ao oceano, lago ou outro corpo d´água. Dada sua capacidade de erosão, transporte e deposição, constituem-se em um dos principais agentes de processos exógenos (MENEZES, 2004).

Os rios podem ser classificados de acordo com o comportamento que apresentam em relação ao substrato e na morfologia dos canais. Os principais estudos morfológicos a cerca dos padrões fluviais classificam-nos em quatro (04) tipos: retilíneo, meandrante, entrelaçado e anastomosado (MIALL, 1977). Cabe ressaltar que normalmente ao longo de um mesmo curso fluvial podem ser observadas passagens gradativas de um padrão para outro, em função de variações na descarga do rio nas épocas de cheia e estiagem (RICOMINI et al., 2000).

A classificação de Shumm (1981) relaciona os padrões dos rios com base no regime predominante do transporte da carga sedimentar (suspensão, por tração ou misto). As formas geométricas do canal fluvial podem ser agrupadas em (Fig. 7):

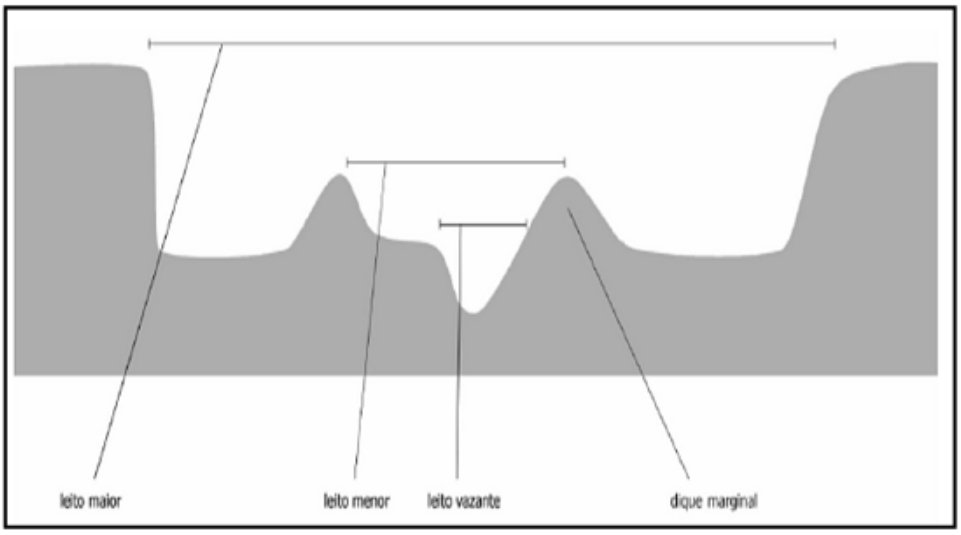
-Leito de vazante: incluído no leito menor, acompanhando o talvegue correspondente às vazões de estiagem;

-Leito menor: bem delimitado, encaixado entre margens bem definidas. Apresenta irregularidades de fundo, com soleiras e depressões;

-Leito maior: ocupado periodicamente pelas cheias, podendo ser identificado o leito maior periódico, associado à ocorrência freqüente e o leito maior excepcional ou Planície de inundação com ocupação por cheias em intervalos menos freqüentes;

-Diques marginais: delimitam, em geral, o leito menor sendo usualmente caracterizados por vegetação abundante.

Figura 7: Formas geométricas do canal fluvial.



Fonte:http://www.ehr.ufmg.br/docsehr/posgrad162.pdf.

5.6 LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO (BATIMETRIA)

A batimetria corresponde ao levantamento topográfico do fundo de um corpo aquoso, cuja determinação da profundidade é fundamentada na medição do tempo de ida e volta de um impulso sonoro emitido, ou seja, o eco. O registro da amplitude dos ecos gerados pela técnica do sonar permite identificar a natureza dos fundos e através dela estudar os processos responsáveis por sua gênese (Silva, 2008).

O levantamento batimétrico pode ser definido como a técnica de estabelecer uma posição geográfica no ecossistema aquático por intermédio da análise da topografia do substrato. Para isso, são utilizados equipamentos eletrônicos denominados DGPS (Diferential Global Position System) e ecobatímetro ou ecossonda (Silva, 2008).

O princípio de funcionamento do ecobatímetro consiste na emissão de um feixe de ondas sonoras (freqüência < 18 KHz) ou ultra-sonoras (freqüência > 18 KHz), transmitido verticalmente por um emissor instalado na embarcação, atravessando o meio líquido até atingir o fundo submerso, quando é refletido, retornando à superfície, onde é detectado por um receptor. O tempo decorrido entre a emissão do

sinal e a recepção do eco refletido, é convertido em profundidade, visto que a velocidade do som na água é conhecida ou determinada (MIGUENS, 1996).

Atualmente, os levantamentos hidrográficos (batimétricos) são realizados mediante a utilização de um sistema constituído por um ecobatímetro (monofeixe ou multifeixe), um sistema de posicionamento (DGPS), com correção diferencial em tempo real, acoplados a um desktop (PC) ou notebook, onde através de software de navegação e processamento os dados de ambos são armazenados, monitorados e sincronizados (Silva, 2008).

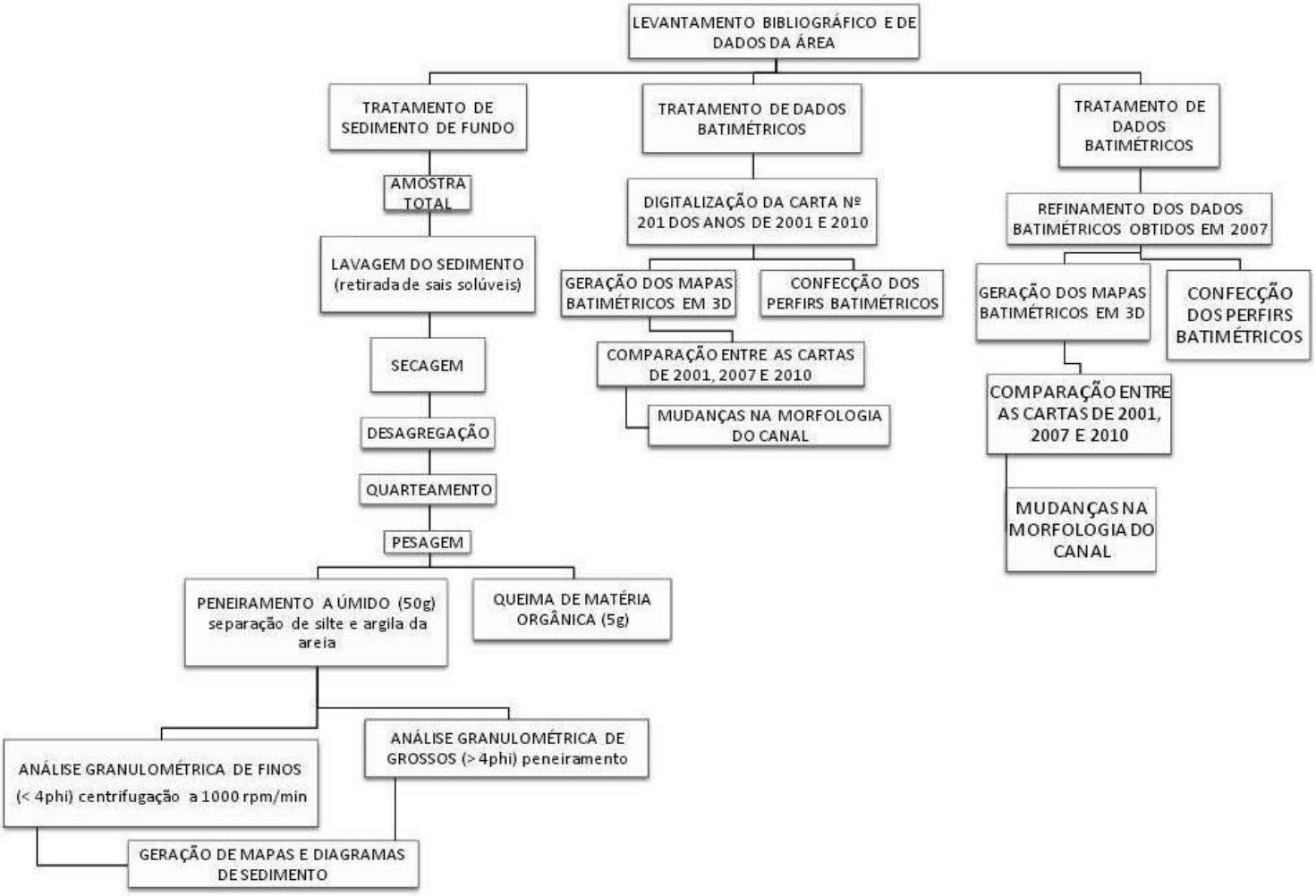
A correspondência entre as medições de posição (fornecidas pelo DGPS) e as medições de profundidade (fornecidas pela sonda) permite obter um conjunto de pontos, referenciados geograficamente, a partir dos quais, após processamento (edição e exportação de pontos), são estimadas as superfícies batimétricas do fundo.

A análise batimétrica possibilita a elaboração de mapa de profundidade, garantindo uma segurança na correta tomada de decisões que visem o uso e a gestão sustentável de um determinado corpo hídrico, sendo fundamental na navegação, dragagem e na prática da atividade pesqueira ou de lazer.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho se deu a partir de dois focos principais: as análises texturais dos sedimentos e a confecção das cartas batimétricas. Tal metodologia pode ser visualizada de forma bem sucinta no fluxograma abaixo.

Figura 8: Fluxograma de atividades empreendidas.

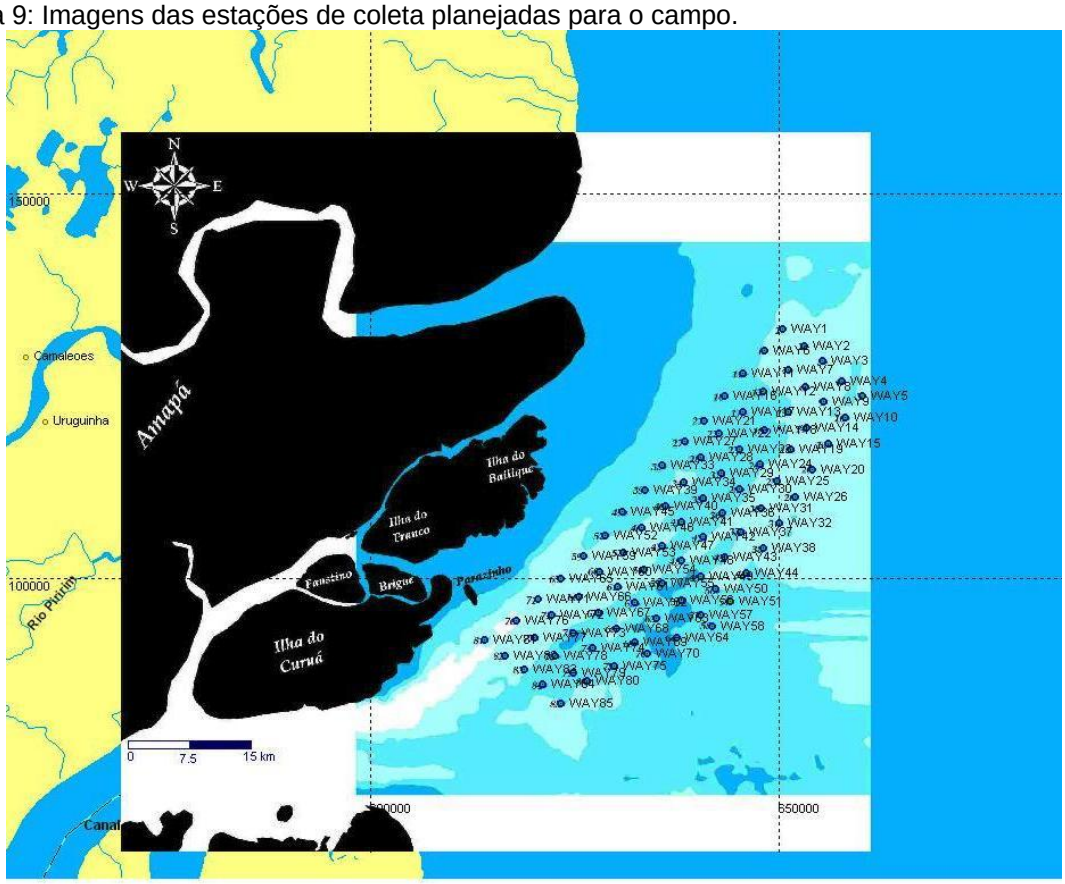


No término de cada etapa da sedimentologia foram feitas observações macroscópicas e anotações para facilitar no processamento em laboratório, no intuito de minimizar os erros que possam ser cometidos no avanço para a próxima etapa do trabalho, e também na tentativa de se formular hipóteses sobre os possíveis agentes responsáveis pela dinâmica no local.

6.1 CAMPO

As amostras desse trabalho foram coletadas pela Marinha do Brasil com parceria do laboratório LIOG (Laboratório Institucional de Oceanografia Geológica e Geofísica Marinha), na embarcação NHo. Garnier Sampaio e denominadas abreviadamente com o nome da embarcação (amostras de GASA), o local de coleta foi o Canal Norte (Fig. 9).

Figura 9: Imagens das estações de coleta planejadas para o campo.



Fonte: Autor.

A seguir está ilustrado o equipamento de coleta improvisado durante o período de amostragem, trata-se de uma âncora vazada de ferro, ela foi vedada por uma de suas extremidades para a retenção de sedimento e lançada de modo a capturar o material durante alguns segundos após o contato com o substrato.

Figura 10: Imagens ilustrativas no período da coleta. Em **A - I**magem da embarcação NHo. Garnier Sampaio, **B / C** – Perspectiva do amostrador improvisado para a coleta e **D –** Modelo da etiqueta utilizada e amostra.

Fonte: Autor.

6.2 LABORATÓRIO

No laboratório LIOG, se procedeu à organização e preparação das amostras coletadas em campo para as posteriores análises texturais que seriam feitas no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências na Universidade Federal do Pará.

A segunda etapa do trabalho foi o tratamento dos dados batimétricos oriundos da campanha resultando no mapa de contorno batimétrico do ano de 2007, os demais mapas de contornos foram originados após digitalização das cartas náuticas dos anos de 2001 e 2010.

6.3 SEDIMENTOLOGIA

A sedimentologia do trabalho ocorreu em duas etapas, a primeira, a de preparação e organização das amostras e, a segunda, a do processamento granulométrico e textural dos sedimentos. Na primeira etapa as amostras foram denominadas e classificadas visualmente de acordo com sua composição (lama, areia, etc..) e a quantidade de matéria orgânica presente (muito ou pouco), após essa fase as amostras passaram por três (3) etapas de lavagem, para a retirada de sais solúveis, que poderiam interferir no processamento das análises granulométricas, assim mascarando o resultado.

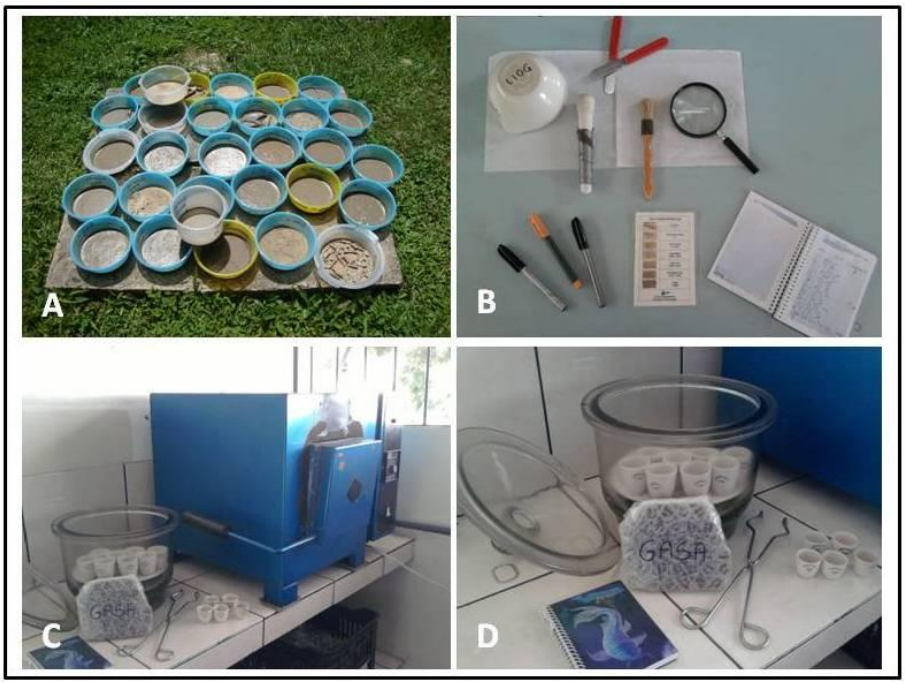
Após a lavagem as amostram foram secas ao sol e posteriormente maceradas com o objetivo de se homogeneizar a amostra por completa, amostrando melhor o ponto coletado. Finalizando a etapa as amostras foram quarteadas e pesadas separando-se 50g de amostra para análise, o restante foi destinado ao Banco de Amostras da Margem Equatorial, que está sob a guarda da FAOC através do LIOG.

A eliminação da matéria orgânica (M.O.) é um procedimento rotineiro na realização da granulometria dos sedimentos, pois a presença dessa pode interferir quantitativamente no resultado final, uma vez que, ela pode ser retida na peneira juntamente com os grãos e aumentar o peso representativo da amostra.

Para verificar a necessidade do ataque químico nas amostras foi realizada a quantificação da M.O. nelas presentes, através da queima na mufla, procedimento esse realizado nas dependências do laboratório LIOG. As amostras foram homogeneizadas, pesadas a 5g cada, e colocadas em cadinhos para nova pesagem, logo depois se realizou a queima a uma temperatura de 500 ºC para a eliminação da matéria orgânica possivelmente presente junto ao sedimento, após esse processo os cadinhos foram pesados novamente para se obter a diferença nos pesos inicial e final.

O presente trabalho limitou uma porcentagem de cerca de 5% de M.O. para ser significante na interferência do resultado final. Caso as amostras apresentassem um valor abaixo deste, seria julgado como sendo desnecessária a queima da M.O. e dado prosseguimento as análises, caso contrário, haveria a necessidade da eliminação desta, por agente químico.

Figura 11: Etapas do trabalho laboratorial: Em A - Secagem das amostras, **B** – Descrição macroscópica e desagregação do material, **C** – Mufla para queima da matéria orgânica e em **D** – Visualização do dessecador e cadinhos.



Fonte: Autor.

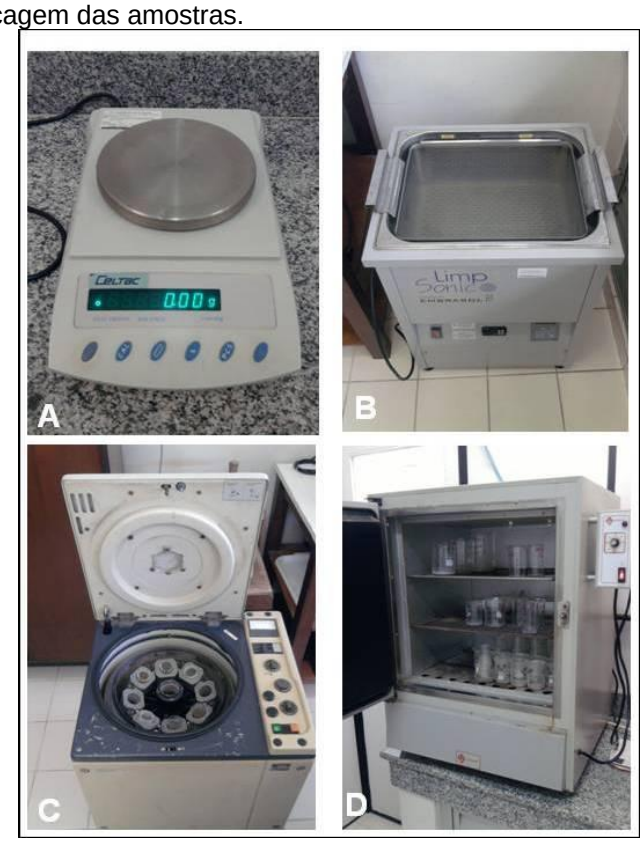
A segunda etapa do tratamento das amostras de sedimento ocorreu no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências na Universidade Federal do Pará, onde foram feitos o peneiramento a úmido e a seco.

No tratamento de sedimentos finos utiliza-se uma metodologia própria de separação, o peneiramento a úmido, que se trata na separação da fração silte e argila da fração areia. Primeiramente a amostra é colocada em água novamente para ser homogeneizada e colocada no ultra-som de marca *Limp Sonic LS-17D* para que ocorra a vibração das partículas em suspensão/decantadas, facilitando a individualização de cada partícula/grão.

O conteúdo foi despejado em uma peneira de 0,062 mm (Fig. 12), para separar a fração areia das frações silte e argila (<0,062 mm). Com uma piceta com água destilada, limpava-se sucessivamente a peneira com os sedimentos, facilitando a passagem dos grãos, esse processo era repetido por diversas vezes, até que passassem todo o silte e argila, ficando retido apenas a areia na peneira, que posteriormente seria levada para a estufa, marca Quimis, modelo-317B233 à temperatura de 80°C, para secar e ser novamente pesada.

Para separação das frações silte e argila o método utilizado foi o processo de centrifugação. O sedimento que passou pela peneira (<0,062 mm), foi novamente homogeneizado (caso ocorresse floculação, adicionava-se 20 ml de Pirofosfato de Sódio (Na4P2O7). Após a homogeneização foram distribuídos igualitariamente, aos pares, em tubos de centrífuga de 100 ml, pesados numa balança de equilíbrio e levados para centrífuga da marca *Heraeus Crist, modelo-4121*, a 1000 rpm durante 2 minutos, tempo necessário para que todo o silte decantasse deixando a argila em suspensão dentro dos tubos. O silte foi levado para estufa a 80°C, para nova secagem, sendo posteriormente pesado.

Figura 12: Equipamentos utilizados na granulometria. Em **A** – Balança eletrônica de precisão, **B** – Ultra-som utilizado na homogeneização das amostras, **C** – Centrifuga para a separação Silte/Argila e em **D –** Estufa para secagem das amostras.



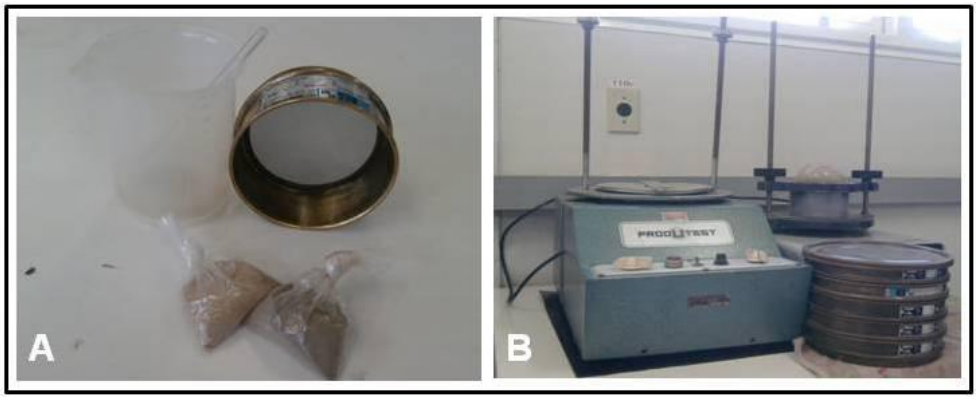
Fonte: Autor.

No tratamento dos sedimentos mais grosseiros, no caso a areia, usou-se o método de peneiramento a seco, com auxílio de um agitador automático *Rotap* que segundo Dias (2004), imprime às peneiras movimentos de elevada freqüência que viabilizam o peneiramento das partículas. Segundo este autor a peneira consiste em um suporte metálico (latão, alumínio, inox, etc.), cilíndrico que serve de suporte a uma

rede de malha calibrada, geralmente metálica, mas que em alguns casos pode ser de outro material.

Cada amostra foi colocada sobre uma seqüência de 04 peneiras sobrepostas em ordem de abertura de diâmetros decrescentes dispostas na seqüência dos intervalos: 1 mm; 0,500 mm; 0,250 mm; 0,125 mm. Na parte superior existe uma tampa que evita a perda de sedimentos e na base se encaixa uma peneira “cega” denominada “pan”. As amostras foram submetidas à agitação 2, no *Rotap,* durante um período de 5 minutos cada.

Figura 13: Em **A** peneira para a separação Silte e Argila da areia e em **B** Perspectiva do agitador e das peneiras utilizadas.



Fonte: Autor.

As aberturas das telas das malhas das peneiras foram combinadas de acordo com a classificação proposta por Wentworth (1922, apud SUGUIO,1973).

Tabela 2 – Escala de Tamanho de grão em mm e phi (ϕ), segundo Wentworth, 1922 apud Suguio, 1973.

Classificação de Wentworth	Escala em (ϕ)	Escala em mm
Areia muito grossa	0	1
Areia grossa	1	0,5
Areia média	2	0,25
Areia fina	3	0,125
Areia muito fina	4	0,0625
Silte grosso	5	31µ
Silte médio	6	15,6µ
Silte fino	7	7,8µ
Silte muito fino	8	3,9µ
Argila grossa	9	2µ
Argila média	10	0,98µ
Argila fina	11	0,49µ
Argila muito fina	12	0,24µ

Os resultados das análises granulométricas foram devidamente anotados em planilhas do *software Excel* 2003. As análises estatísticas foram feitas no *software Sisgran 3.0*, onde foram gerados os diagramas de Pejrup (1988) e Shepard (1954).

6.4 CONFECÇÃO DE CARTAS BATIMÉTRICAS

6.4.1 Aquisição dos dados batimétricos

A aquisição das cartas náuticas digitais foi feita mediante o download das mesmas no site (http://www.mar.mil.br) da Marinha do Brasil (M.B.), mais especificamente na parte que abrange a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN)/Cartas Digitais.

No quadro abaixo estão listadas as especificações técnicas das cartas batimétricas utilizadas no presente trabalho.

Tabela 3: Informações técnicas da base cartográfica utilizada.

Centro de Hidrografia da Marinha

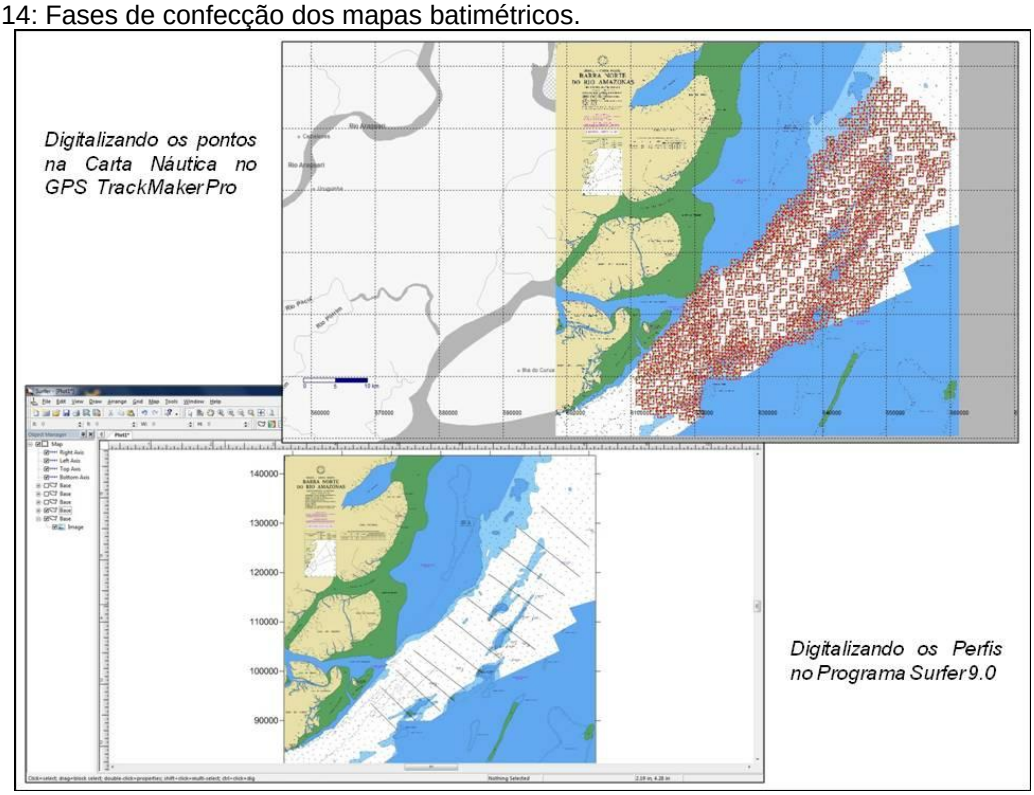
Cartas Náuticas Digitais

Carta de Nº	Nome	Características Técnicas	Ano	Procedência
201	BARRA NORTE DO RIO AMAZONAS	Projeção: Mercator Escala: 1:80 000 Datum: WGS-84	2001	DHN
201	BARRA NORTE DO RIO AMAZONAS	Projeção: Mercator Escala: 1:80 000 Datum: WGS-84	2010	DNH

6.4.2 Digitalização das Cartas Náuticas

Inicialmente as cartas náuticas digitais foram referenciadas no software Global Mapper 11. Após o georeferenciamento as cartas foram devidamente digitalizadas no software GPS Trackmaker Professional 4.5 utilizando como referência o sistema de projeção Universal Transversa Mercator (UTM), e o Datum WGS 1984.

Figura 14: Fases de confecção dos mapas batimétricos.



A demarcação da região de estudo nas cartas de 2001 e 2010 levou em consideração a área em que foi realizado o levantamento da Marinha do Brasil, resultando na confecção da carta de 2007, delimitando assim uma região específica dentro do canal.

Foram digitalizadas todas as profundidades registradas na carta náutica, perfazendo um total de 2247 e 2308 pontos nas cartas náuticas de 2001 e 2010, respectivamente. Sendo limitada uma região específica dentro do canal onde se confeccionou o bloco diagrama 3D e os perfis.

6.4.3 Geração de mapas de contornos batimétricos e em superfície 3D

A planilha contendo os pontos digitalizados no Software Trackmaker, foi exportada e processada no software Surfer 9.0, onde foi gerado um arquivo em extensão *dat para geração do grid, mediante interpolação de todos os pontos contendo valores x,y (latitude e longitude) e z (cotas batimétricas).

A planilha contendo os pontos digitalizados no *Software Trackmaker*, foi exportada e processada no software *Surfer 9.0*, onde foi gerado um arquivo em extensão *dat para geração do grid, mediante interpolação de todos os pontos contendo valores x,y (latitude e longitude) e z (cotas batimétricas).

Dentre os variados métodos de interpolação disponíveis no Software Surfer 9.0 (*inverse distance to a power, minimum curvature, modified shepard's method, natural neighbor, nearest neighbor, polynomial regression, radial basis function, triangulation with linear interpolation, moving average, data metrics, local polynomial*), o de *Krigagem* foi o que apresentou os resultados mais confiáveis. Após a geração dos grid's, foi aplicado o filtro *Spline Smooth*, com o objetivo de suavizar superfícies, em alguns trechos onde as curvas batimétricas apresentavam-se angulosas.

Com esse dado foi possível gerar o mapa de contorno batimétrico (em escala de detalhe equivalente a 1:25000) com espaçamento entre as curvas de nível de 2 m, bem como as superfícies 3-D (bloco-diagrama / wireframe).

6.4.4 Perfis batimétricos transversais

As cartas náuticas convertidas em formato raster, devidamente georeferenciadas, serviram de base para que fossem traçados onze (11) perfis perpendiculares à linha de margem, dispostos seqüencialmente de montante para a jusante, e a localização destes foi escolhida nos locais de mudanças morfológicas bem destacadas entre os períodos estudados (2001 - 2010).

Para isso foi utilizado o *Software Surfer 9.0*, tendo em mão esses dados gerados, os perfis em 3D foram cobertos por linhas de diferentes cores, uma cor para cada ano (vermelho – ano de 2001, preto – ano de 2007 e azul – ano de 2010).

Após esse processo, as linhas foram organizadas e inseridas em um plano cartesiano XY (X- distância do perfil aproximado, Y-profundidade) e cada perfil identificado com uma letra do alfabeto, sendo nas extremidades do perfil denominadas de, por exemplo, **A** e a outra extremidade **A**'.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 CARTA BATIMÉTRICA E BLOCO DIAGRAMA 3D

A análise comparativa dos blocos diagrama 3D dos três anos de análise (anos 2001, 2007 e 2010), apresentadas abaixo (Fig. 14, 15 e 16) torna ainda mais evidente a evolução das formas de fundo ocorrida ao longo do período estudado.

A tendência de erosão do canal e as migrações de bancos para nordeste é acompanhada ao longo dos perfis batimétricos no sentido SW-NE, onde ocorre um aumento das cotas batimétricas no Canal Grande do Curuá. Bancos emersos sem denominação na carta náutica que em 2001 estavam localizados na parte sul da área de estudo, próximas ao Canal Grande do Curuá sofreram intensos processos erosivos e migração para nordeste.

Ao longo dos anos os Bancos “do Meio Norte” e “do Meio” sofreram intensos processos de erosão ocasionada pela erosão/migração do Canal Grande do Curuá, deslocando-se no sentido SW-NE, ocasionando grande erosão no Banco do Meio Norte que teve sua dimensão diminuída consideravelmente, enquanto que o Banco do Meio resistiu aos processos erosivos não acompanhando em proporção a diminuição do Banco do Meio Norte, sofrendo processos erosivos mais brandos e migrando para nordeste.

Os Bancos “Madureira” e “do Rio Branco” também seguiram as modificações apresentadas nos outros bancos, sendo as mudanças ocorridas no Banco do Rio Branco mais intenso, seja nos processos erosivos quantos migratórios com relação ao Banco Madureira, que também sofreu processos erosivos e migratórios, porém mais brandas e menos intensas devido possivelmente a sua localização mais próxima a costa do Amapá.

Figura 15: Carta batimetrica e bloco diagrama 3D do ano de **2001** apresentando na carta a distribuição das profundidades e no bloco o dimensionamento da morfologia do fundo no Canal do Curuá – Barra Norte.

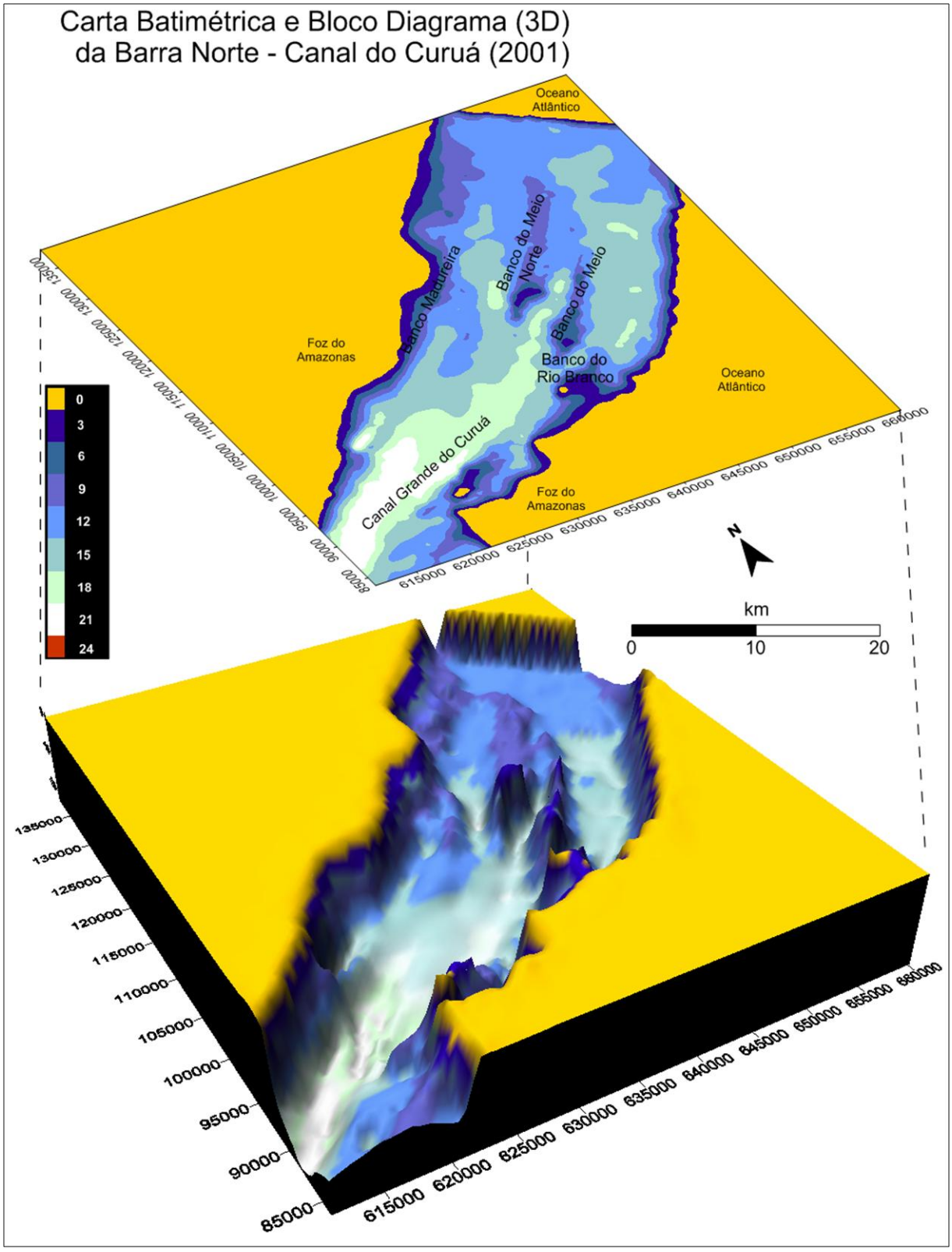


Figura 16: Carta batimetrica e bloco diagrama 3D do ano de **2007** apresentando na carta a distribuição das profundidades e no bloco o dimensionamento da morfologia do fundo no Canal do Curuá – Barra Norte.

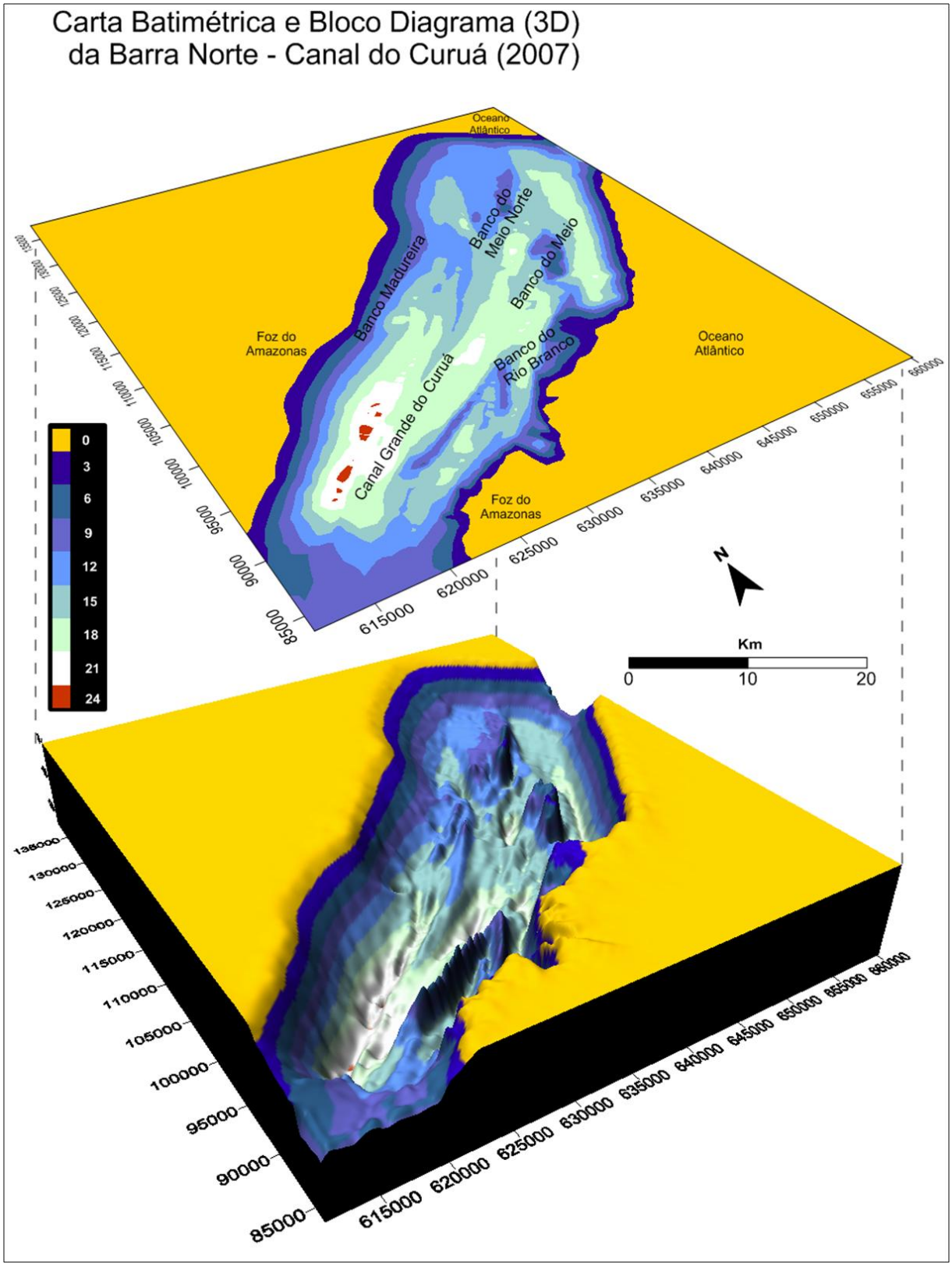
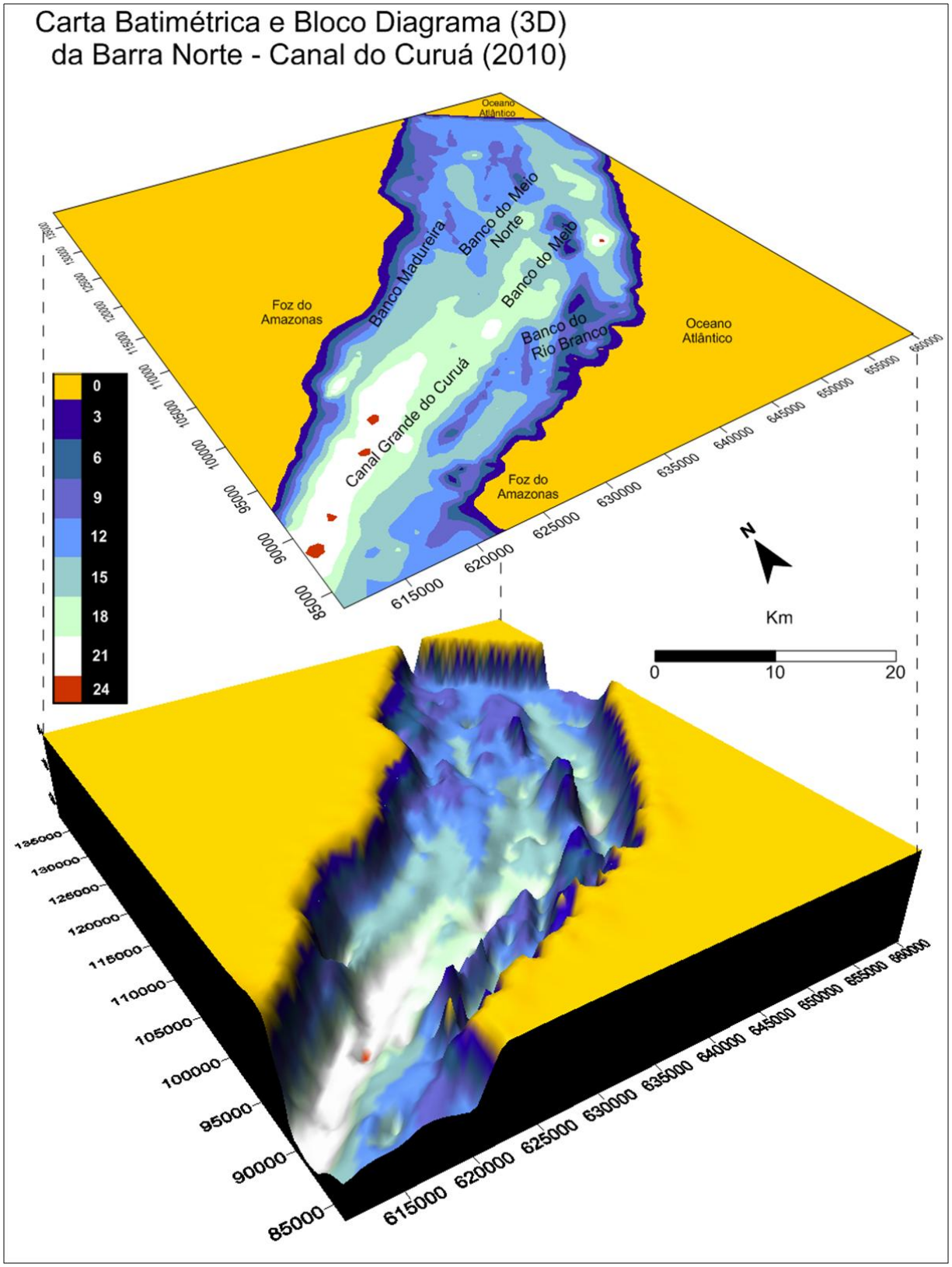


Figura 17: Carta batimetrica e bloco diagrama 3D do ano de **2010** apresentando na carta a distribuição das profundidades e no bloco o dimensionamento da morfologia do fundo no Canal do Curuá – Barra Norte.



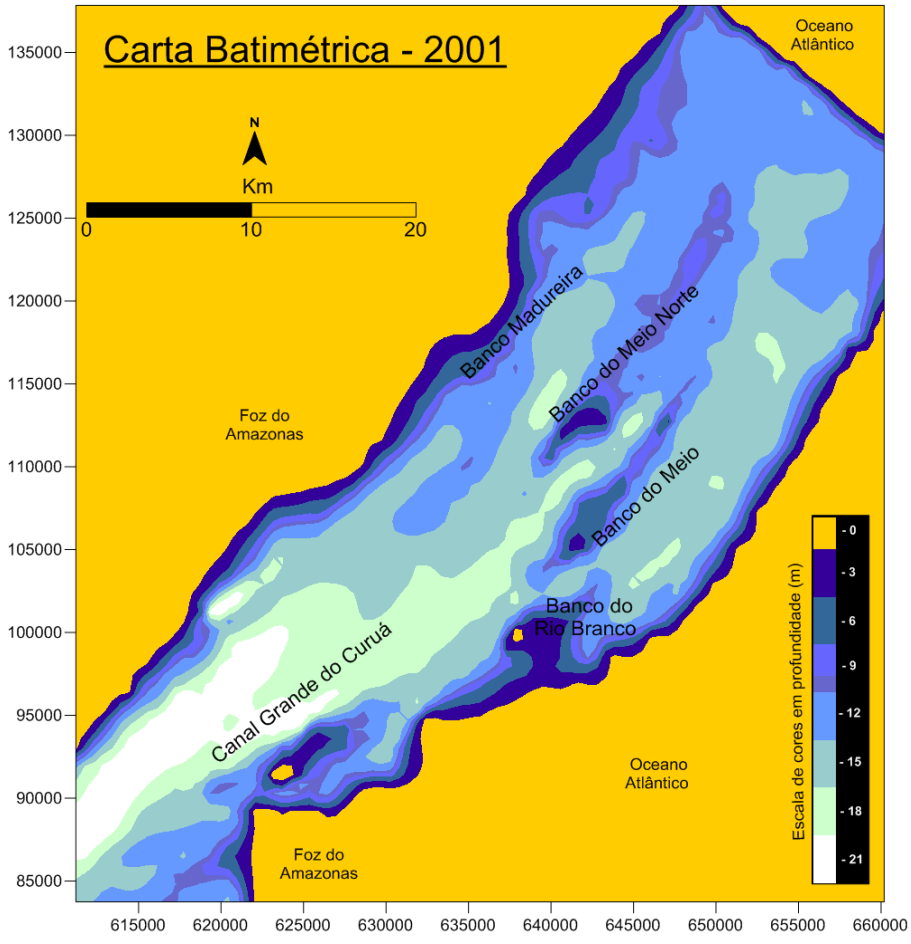
7.2 EVOLUÇÃO DA BATIMETRIA

A área que envolveu a geração dos mapas batimétricos encontra-se dentro da carta 201 da Barra Norte, limitando-se apenas a área onde foi realizado o levantamento junto a Marinha do Brasil. Todas as demais cartas (cartas dos anos 2001 e 2010) que foram digitalizadas foram feitas tomando como base a área do levantamento, não sendo digitalizada a carta por inteiro.

O foco deste trabalho se deu nas mudanças que ocorriam dentro da Barra Norte – Canal do Curuá, local de constante tráfego de embarcações marítimo comerciais.

Foram identificadas cinco principais feições morfológicas: Banco Madureira; Banco do Meio Norte; Banco do Meio, o Banco do Rio Branco e o Canal Grande do Curuá.

Figura 18: Carta Batimétrica da região do estudo mostrando as principais feições morfológicas de fundo.



O **Banco Madureira** é a feição morfológica mais próxima da costa distanciada cerca de 2 km da linha costeira próxima a região do Bailique e, durante essa distância a profundidade varia de 1 a 3 m, na maré baixa, verificando-se arrebentações na região compreendida no entorno do Banco do Bailique, sendo uma região de risco a navegação.

O **Banco do Meio Norte** é a feição deposicional localizada mais ao norte da área de estudo, que em 10 anos de análise sofreu uma considerável migração para norte, mostrando uma das tendências resultantes do estudo, a erosão/migração dos bancos e aumento da profundidade do Canal do Curuá. A grande porção encontrada submersa no ano de 2001 na baixa-mar não mais era visível no ano de 2007 (ano do levantamento), mas que apresentava risco a médias e grandes embarcações.

Diferentemente do Banco do Meio Norte o processo erosivo no **Banco do Meio** parece ter sido menos intenso ocorrendo médios processos erosivos reduzindo seu tamanho em 2007 e 2010, havendo um considerável deslocamento do banco para nordeste.

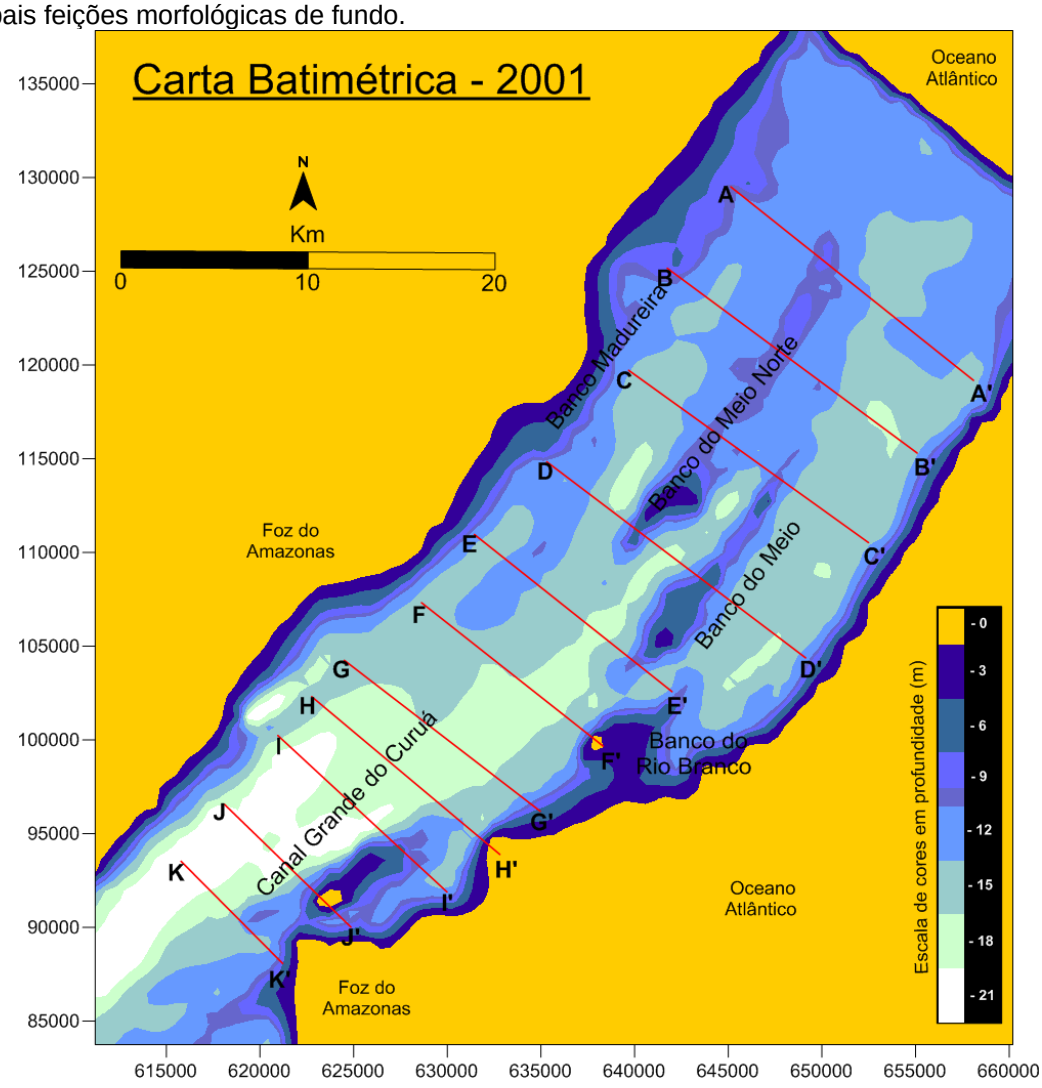
Outra feição que estava emersa, era o **Banco do Rio Branco** que apresentava algumas centenas de metros de largura em 2001 e, no ano de 2007 já se apresentava submersa cerca de 1 a 2 m de profundidade e que aparecia em maré-baixa. Esse banco assim como o Banco do Meio Norte apresentou uma migração para nordeste acompanhando a tendência de erosão/deposição da morfologia como um todo do Canal Grande do Curuá.

Na área de estudo do Canal Norte percebe-se uma tendência de erosão no início do **Canal Grande do Curuá** no sentido montante-jusante aumentando a profundidade nessa região, os bancos ao norte seguem essa mudança com as migrações mais acentuadas no caso do Banco do Meio Norte, Banco do Rio Branco e Banco Madureira além de processos erosivos como no Banco do Meio.

7.3 ANÁLISE BATIMÉTRICA DOS PERFIS TRANSVERSAIS

Inicialmente foram confeccionados 12 perfis para análise da evolução batimétrica, no entanto, devido o limite da área de processamento (com cotas de profundidade acentuada) com o seu exterior (que recebeu cota “0”) ser interpolado pelo programa, mascarou-se assim, algumas cotas de profundidade, e optou-se por interiorizar os perfis de modo a facilitar o entendimento da evolução morfológica, sendo então analisados 11 perfis transversais (NW-SE), cada perfil denominado por uma letra do alfabeto, descritos e comparados nos três anos de estudo de acordo com a orientação mostrada abaixo, na fig. 18.

Figura 19: Carta Batimétrica da região do estudo mostrando a delimitação dos perfis de **A – K** e as principais feições morfológicas de fundo.



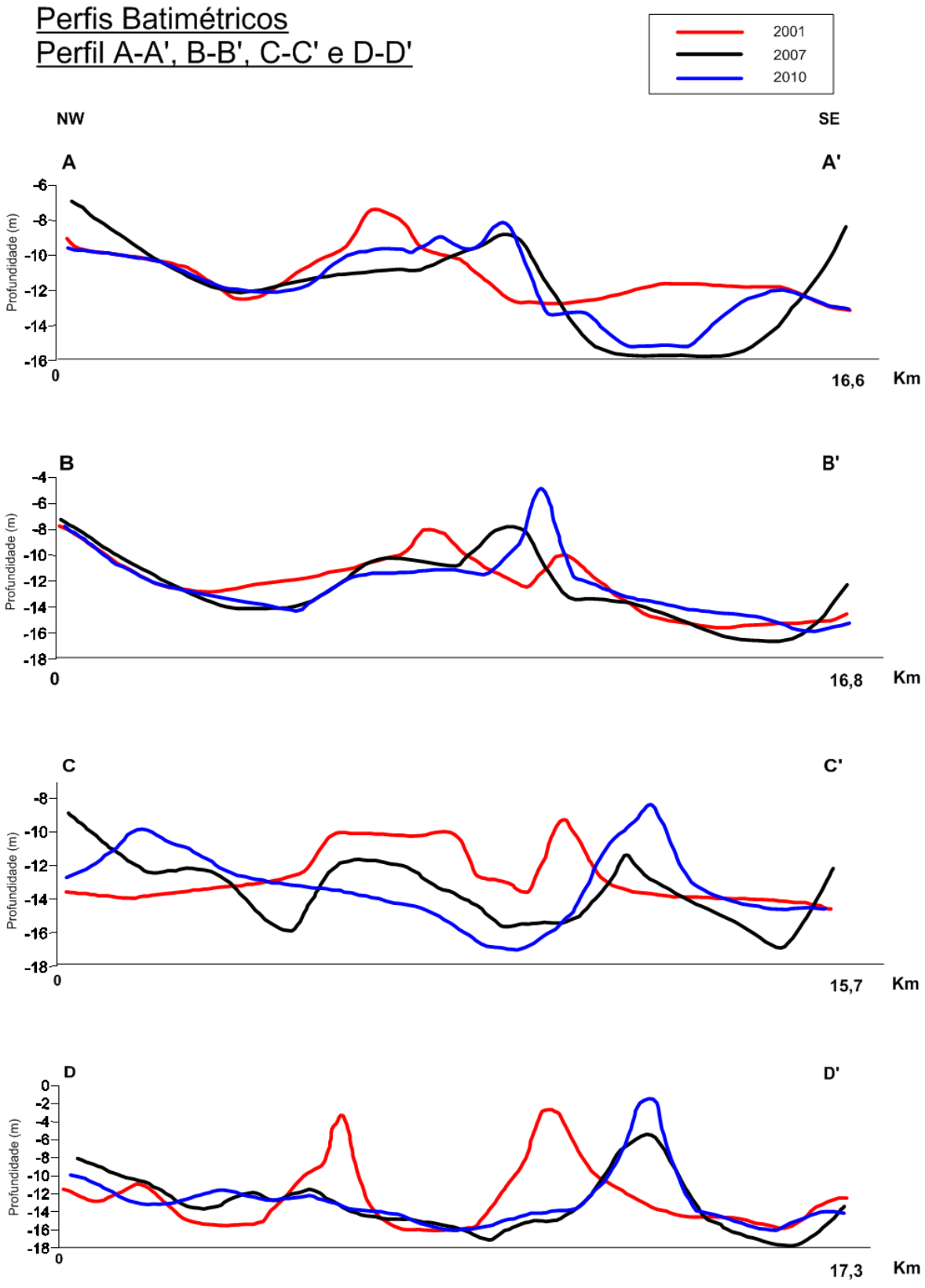
A análise temporal do Perfil A mostra que houve uma migração do Banco do Meio Norte bem no centro do perfil do sentido de A para A', havendo pouca variação na sua profundidade, cerca de 1 m, enquanto que do lado A' houve um aprofundamento do canal, um pouco mais que 3 m, atualmente resultando em dois canais principais (um de 12 e outro de 16 m de profundidade) e um banco (8 m de profundidade) no perfil.

No perfil B a feição morfológica presente é o Banco do Meio Norte, que no decorrer dos anos sofreu uma diminuição na sua profundidade (cerca de 3 m) e, seguindo o sentido da migração do banco no perfil anterior, teve um deslocamento no sentido de B para B' considerável, um pouco mais que 4 km, mantendo atualmente dois canais principais (um de 14 e outro de 16 m de profundidade) e um banco (5 m de profundidade) no perfil.

O perfil C sofreu grandes mudanças ao longo dos anos tanto na distribuição dos bancos como nos canais, modificando sua profundidade e deslocamento lateral, essa intensa variação é explicada pelo fato de que o perfil corta os dois principais bancos dentro do Canal Norte, o Banco do Meio Norte e o Banco do Meio. No ano de 2001 para 2007 o canal próximo ao lado C sofreu assoreamento e o canal migrou poucos km em direção a C', mantendo essa tendência, criando um banco de material proveniente possivelmente do Banco Madureira de profundidade de 10 m em 2010, enquanto que o Banco do Meio Norte sofreu erosão (pouco mais que 2 m) aumentando sua profundidade em 2007 e, já em 2010 foi quase todo erodido.

O canal localizado entre os Bancos "do Meio Norte" e "do Meio" também sofreu processos erosivos aumentando sua profundidade pouco mais de 1 m, e em 2010 atingindo a profundidade de 17 m, assim como o Banco do Meio que sofreu erosão e deslocou-se no sentido C para C', retornando a assorear e diminuindo a profundidade. Por fim, o canal próximo a C' sofreu intensa erosão nos anos de 2001 a 2007 voltando em 2010 a ter mais ou menos a sua profundidade que havia em 2001.

Figura 20: Modificações morfológicas e batimétricas ocorridas na Barra Norte - Canal do Curuá nos períodos de 2001, 2007 e 2010 nos perfis de **A** - **D**.



O perfil D é marcado pela erosão do Banco do Meio Norte e deslocamento horizontal no sentido de D para D’ (pouco mais que 3 km) do Banco do Meio, sofrendo pouca variação em sua profundidade, mantendo atualmente dois canais principais (média de 12 m de profundidade) e um banco, o Banco do Meio (2 m de profundidade).

O perfil E é marcado por uma variação de cerca de 2 m de profundidade no canal principal adjacente ao lado E, ocorrendo à erosão integral do Banco do Meio as proximidades do lado E’, resultando em 2010 em um perfil contínuo e com média de profundidades em torno dos 13 m.

O perfil F seguiu as mudanças morfológicas do perfil anterior, com uma variação de cerca de 1 m de profundidade no canal principal adjacente ao lado F, ocorrendo à erosão integral do Banco do Rio Branco as proximidades do lado F’, resultando em 2010 em um perfil continuo e com médias de profundidade em torno dos 16 m.

O perfil G apresentou uma leve variação em sua profundidade na região do lado G, sofrendo consideráveis mudanças no lado adjacente a G’, onde ocorreu um assoreamento próximo ao Banco do Rio Branco, resultando em um banco com profundidades em torno dos 9 m.

No perfil H as feições encontradas em 2001 próximas ao lado H não sofreram muitas mudanças resultando em uma modificação morfológica homogênea, enquanto que no lado H’ as mudanças foram mais evidentes onde um banco aflorante, sem identificação na carta náutica, sofreu intensa erosão migrando no sentido H’ para H, um pouco mais que 5 km de distância.

Figura 21: Modificações morfológicas e batimétricas ocorridas na Barra Norte - Canal do Curuá nos períodos de 2001, 2007 e 2010 nos perfis de **E** – **H**.

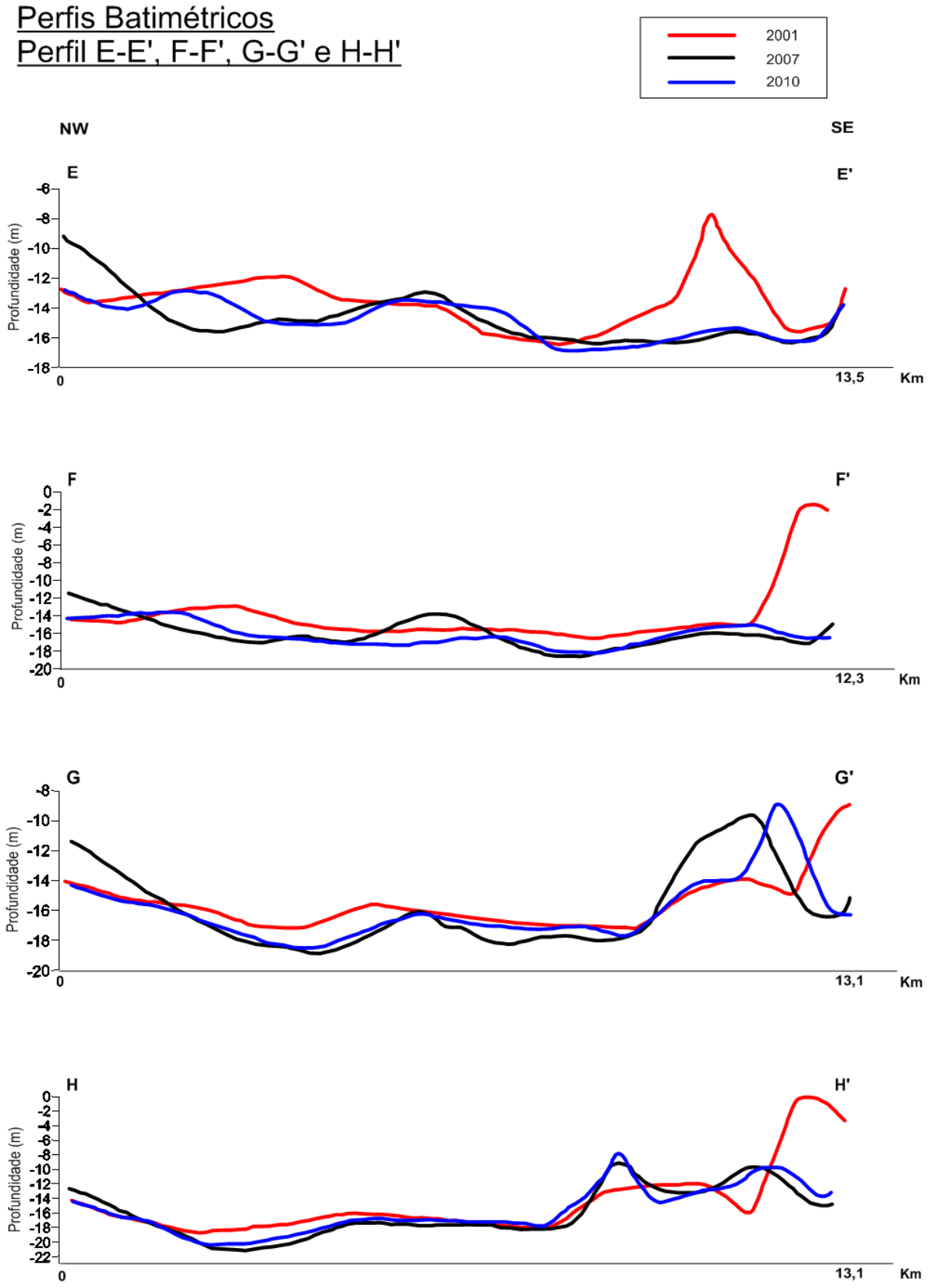
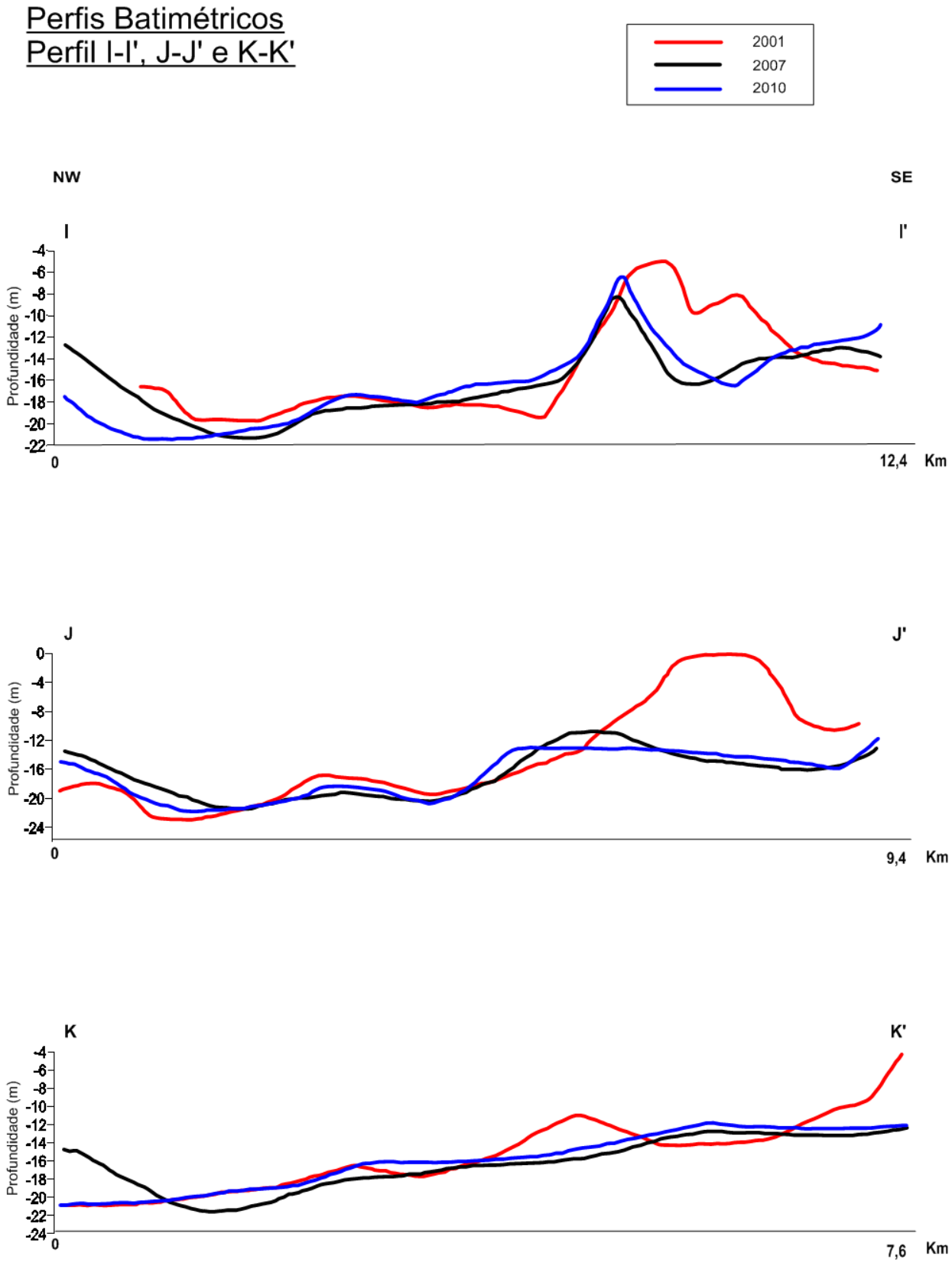


Figura 22: Modificações morfológicas e batimétricas ocorridas na Barra Norte - Canal do Curuá nos períodos de 2001, 2007 e 2010 nos perfis de **I** - **K**.



No perfil I começam a aparecer às maiores cotas batimétricas (maiores profundidades), pois o mesmo passa por cotas de 20 m de profundidade no Canal Grande do Curuá, as maiores profundidades estão localizadas próximas ao lado I, onde as mudanças foram mais homogêneas ao longo dos dez anos. As mudanças mais evidentes estavam presentes no lado I' onde começa a se evidenciar um banco não identificado na carta náutica, bem significativo e que ao longo dos anos sofre erosão, deslocando-se de 1 a 2 km no sentido I' para I, formando um canal de 16 m de profundidade adjacente ao lado I'.

O perfil J é marcado por um banco aflorante sem denominação na carta náutica localizado no lado J' em 2001 e, que no ano de 2007, foi completamente erodido resultando em um perfil homogêneo com média de profundidade em torno dos 12 m.

O perfil k localiza-se dentro do Canal Grande do Curuá, apresenta uma média de profundidades em torno de 16 m, e que sofreu de 2001 a 2010 no lado K', um leve processo de erosão diminuindo sua profundidade e deixando a morfologia do canal mais regular.

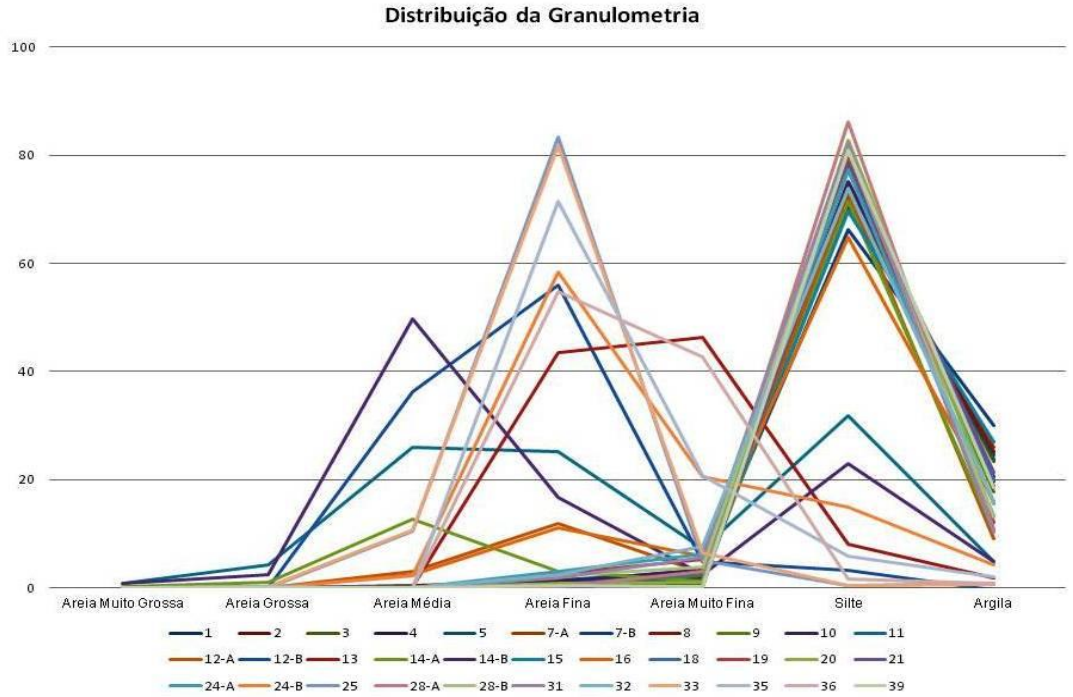
7.4 SEDIMENTOLOGIA

Os resultados das análises texturais demonstraram a predominância das classes silte e areia compondo um pouco mais de 80% de todo o material, resultado esse esperado, pelo fato da área de estudo ser um canal altamente dinâmico na foz do Rio Amazonas. Os percentuais de argila ficaram na faixa de 10 a 18% do total e, que se mostraram sempre presente na maioria das amostras.

As quantidades de areia nas amostras são consideráveis, destacando-se as classes: areia média, areia fina (maior porcentagem) e areia muito fina, que perfazem cerca de 20% do total.

As curvas de distribuição granulométrica das amostras se mostraram bem distribuídas nas classes areia, silte e argila, havendo uma tendência mais intensa em um padrão com pico na fração silte e outro menos intenso com pico variando entre as frações areia média, fina a muito fina.

Figura 23: Gráfico da distribuição granulométrica de cada amostra.



Os resultados das análises texturais e estatísticas, a classificação de cada amostra assim como o percentual de matéria orgânica está apresentada abaixo na tab. 4.

Tabela 4: Amostras coletadas no Canal Norte e resultados estatísticos das análises granulométricas e do percentual de matéria orgânica.

(Continua)

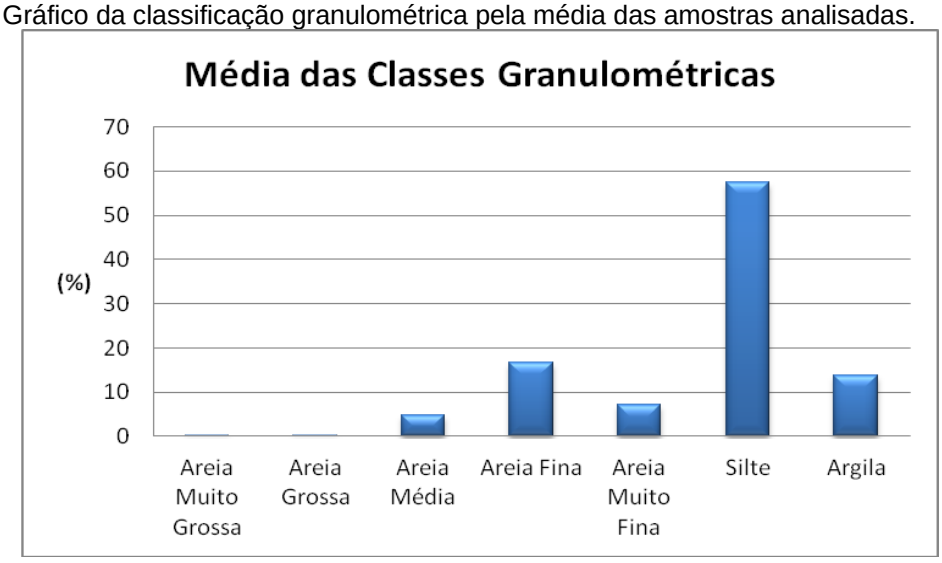
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE CADA AMOSTRA								CLASSIFICAÇÃO		M.O. (%)
Identificação	Areia Muito Grossa	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Areia Muito Fina	Silte	Argila	Shepard	Pejrup	
1	0	0	0	0,53	1,08	74,72	23,67	Silte	D-IV	1,12%
2	0	0	0	0	0,9	39,79	9,31	Silte	D-IV	1,24%
3	0	0	0	0,38	0,44	37,52	11,66	Silte	D-IV	0,73%
4	0	0	0	0,05	0,98	39,11	9,86	Silte	D-IV	0,87%
5	0	0	0,05	0,73	1,47	35,46	12,29	Silte	D-IV	0,77%
7-A	0	0	0	0,11	0,69	36,22	12,98	Silte Argiloso	D-IV	1,17%
7-B	0	0	0	0,12	1,72	33,14	15,02	Silte Argiloso	D-IV	1,20%
8	0,02	0,01	0,15	0,63	1,23	35,41	12,55	Silte	D-IV	2,75%
9	0	0	0	0,28	1,12	39,78	8,82	Silte	D-IV	1,46%

(Conclusão)

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE CADA AMOSTRA								CLASSIFICAÇÃO		M.O. (%)
Identificação	Areia Muito Grossa	Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Areia Muito Fina	Silte	Argila	Shepard	Pejrup	
10	0	0	0	0,48	1,72	37,51	10,29	Silte	D-IV	0,74%
11	0,38	2,13	12,96	12,6	3,63	15,88	2,42	Areia Siltica	B-IV	0,62%
12-A	0	0	1,52	5,91	1,43	36,64	4,5	Silte Arenoso	C-IV	0,72%
12-B	0,03	0,03	18,16	27,98	2,39	1,61	-0,2	Areia	A-IV	0,18%
13	0	0,08	0,09	21,73	23,17	4	0,93	Areia	A-IV	0,24%
14-A	0,13	0,47	6,38	1,49	0,58	35,69	5,26	Silte Arenoso	C-IV	0,84%
14-B	0,42	1,19	24,9	8,39	1,17	11,47	2,46	Areia Siltica	B-IV	0,34%
15	0	0	0,11	0,32	1,28	34,81	13,48	Silte Argiloso	D-IV	1,25%
16	0	0	1,17	5,57	2,93	32,43	7,9	Silte Arenoso	C-IV	0,77%
18	0	0	0	0,19	1,29	38,6	9,92	Silte	D-IV	1,40%
19	0	0	0	1,32	2,58	40,03	6,07	Silte	C-IV	0,68%
20	0	0	0	0,37	0,54	41,39	7,7	Silte	D-IV	0,61%
21	0	0	0	0,06	0,14	39,15	10,65	Silte Argiloso	D-IV	0,70%
24-A	0	0	0,02	1,55	3,1	38,67	6,66	Silte	C-IV	0,81%
24-B	0	0,03	1,1	29,17	10,23	7,4	2,07	Areia	B-IV	0,26%
25	0	0,01	5,24	41,67	2,52	0,2	0,36	Areia	A-IV	0,07%
28-A	0	0	0	0,08	1,46	43,07	5,39	Silte	D-IV	0,42%
28-B	0	0	0	1,07	1,93	40,46	6,54	Silte	D-IV	0,45%
31	0	0	0	0,92	2,86	41,04	5,18	Silte	C-IV	0,45%
32	0	0	0	1,25	3,87	36,96	7,92	Silte Argiloso	C-IV	0,60%
33	0,02	0,07	5,32	40,85	3,17	0,23	0,34	Areia	A-IV	0,09%
35	0	0,05	0,03	35,69	10,35	2,89	0,99	Areia	A-IV	0,14%
36	0	0,01	0,02	27,33	21,35	0,85	0,44	Areia	A-IV	0,14%
39	0	0	0	0,16	0,13	40,41	9,3	Silte Argiloso	D-IV	1,16%

Os resultados médios das análises granulométricas em porcentagem (%) estão representados abaixo na fig. 23, neles pode-se perceber o predomínio da classe silte, seguindo das classes de areia e por fim argila. Obteve-se como resultado 57,3% das amostras constituídas pela fração granulométrica silte, 28,9% pelas frações granulométricas de areia e de 13,6% da fração argila.

Figura 24: Gráfico da classificação granulométrica pela média das amostras analisadas.

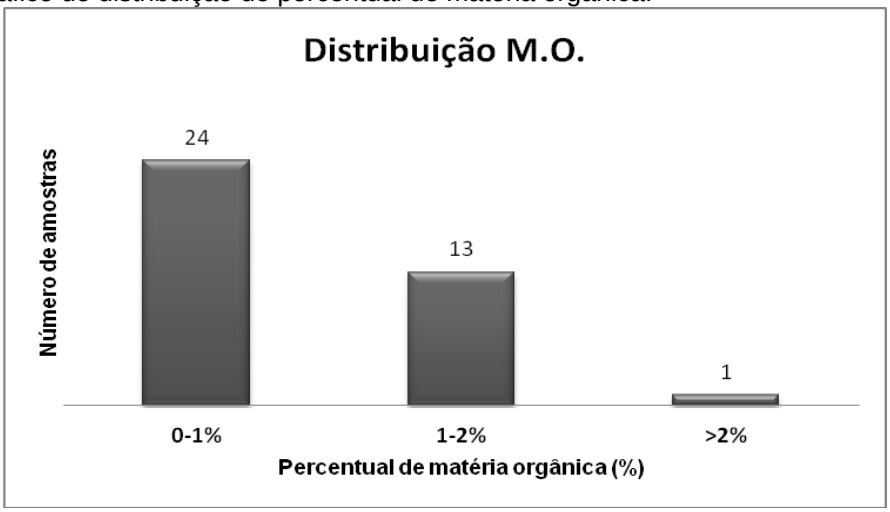


7.5 MATERIA ORGANICA (M.O.)

A quantidade de matéria orgânica nesse trabalho mostrou-se quase que insignificante na análise da granulométrica, não sendo necessário o ataque através de um agente químico, antes da realização da granulometria laboratorial. Os resultados estão presentes na tabela 4, (e na Fig. 24 abaixo).

Os baixos teores de matéria orgânica na maioria da amostras, provavelmente estão relacionados à alta dinâmica do Canal Norte, uma vez que a migração de sedimentos no local é constante no decorrer do tempo e espaço, fazendo com que essas partículas de areia e lama não consigam reter esse material. Apesar do canal se encontrar na foz do Rio Amazonas, caracterizado por sua alta taxa de transporte de materiais sedimentares e orgânicos, era esperado um valor mais elevado de M.O., no entanto, esse material tem seu tempo de permanência diminuído no local.

Figura 25: Gráfico de distribuição do percentual de matéria orgânica.



7.6 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Para determinar os tipos de sedimentos de fundo presente na área da Barra Norte – Canal do Curuá, quanto às classes dimensionais, foi utilizada a classificação de Shepard (1954) e para a análise da dinâmica da região em estudo se utilizou o diagrama de Perjup (1988).

7.6.1 Classificação por Shepard

Em 1954 Francis Parker Shepard elaborou um diagrama triangular que agrega os valores percentuais de argila, silte e areia, obtidos através da granulometria, em 12 classes diferentes.

A coleta das amostras ocorreu no ano de 2007, justificando a escolha da carta batimétrica do mesmo ano para a criação da carta sedimentológica. A carta de sedimentos foi diferenciada nesse trabalho, uma vez que, as distâncias em que se encontravam um ponto do outro eram consideráveis, mais de 5 km de distância em muitos casos, com isso a interpolação dos dados de sedimento resultariam em uma extrapolação equivocada e que possivelmente geraria muitos erros.

A opção escolhida para a confecção da carta foi através de um mapa pontual, caracterizando somente o ponto onde se coletou a amostra, podendo se inferir um raio de suposições das quais os sedimentos ao seu redor poderiam ser caracterizados.

Durante o percurso da área de amostragem, a equipe de coleta realizou uma amostragem teste, denominada por amostra 1, explicando sua distância dos demais pontos, sendo considerada no trabalho como uma amostra representativa.

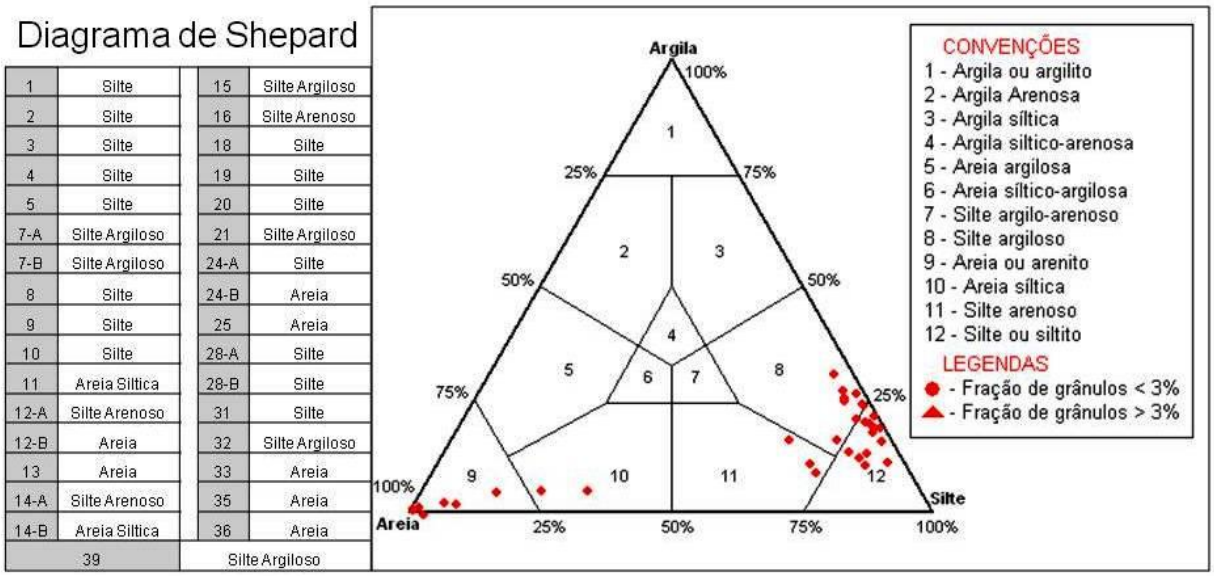
Em alguns casos, durante a coleta, os pesquisadores responsáveis pela expedição, se depararam com amostras bem estratificadas, dentro do coletor, procedendo-se da seguinte forma, as amostras com numerações acompanhadas por letras como, por exemplo, a amostra sete (7) representou uma amostra dividida em 7-A, mais superficial e 7-B a porção abaixo. O mesmo processo se repetiu nas amostras 12, 14 e 24, Essas amostras foram analisadas de forma separadas com a intenção de se obter maiores resultados a cerca da caracterização do Canal Norte, sendo considerada uma única amostra, na carta sedimentológica.

A amostra 28 foi uma exceção a esse procedimento acima, pois devido ao mal tempo a amostra 28-A seria a representação da amostra 28, no entanto optou-se por repetí-la mais adiante no percurso da embarcação (amostra 28-B), porém devido a sua distância da coleta anteriormente realizada, ela se caracterizou uma nova amostra com a mesma denominação, amostra 28-B.

O restante das amostras foi classificado dentro do diagrama de Shepard caracterizando texturalmente os sedimentos dentro do Canal Norte.

Nas amostras estudadas foram obtidas 5 classes granulométricas: areia com 6 amostras (19,4%), areia síltica com 2 amostras (6,4%), silte com 14 amostras (45,2%), silte arenoso com 3 amostras (9,6%) e silte argiloso com 6 amostras (19,4%).

Figura 26: Classificação granulométrica pelo diagrama triangular de Shepard (1954) em cada identificação de amostras.

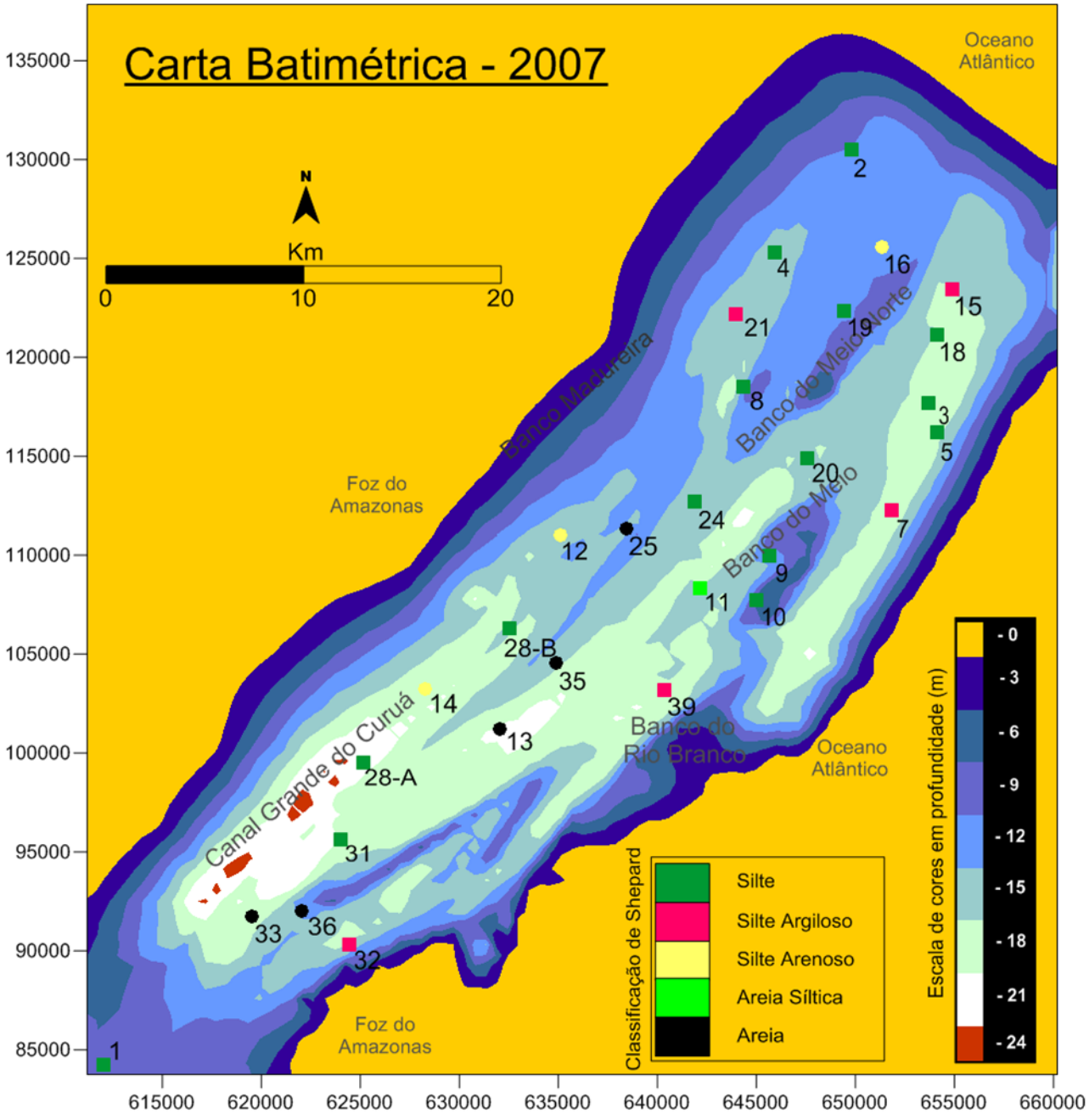


A partir dos dados gerados pelo diagrama de Shepard confeccionou-se uma carta de sedimento distribuída de forma pontual, não sofrendo interpolação pelo programa, que geraria extrapolação acima do aceitável.

O resultado do diagrama de Shepard mostrou uma predominância das classes silte e areia dentro do Canal Grande do Curuá seguindo essa tendência nas regiões de maiores profundidades.

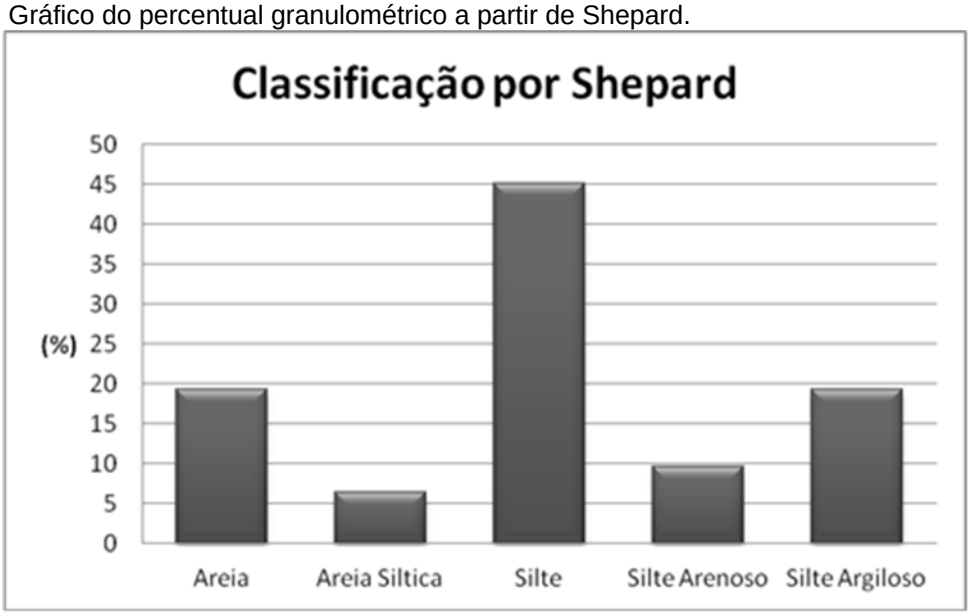
Em uma análise das coletas realizadas próximas aos bancos dentro do canal pode-se notar uma dominância da classe silte, possivelmente explicada pela alta dinâmica de migração dos bancos na região, variáveis no tempo e espaço, não permitindo a deposição de muito material lamoso (principalmente argila). Sendo a classe silte argiloso, uma classe de materiais com teores de 25% de argila, encontrados próximo aos bancos, mostrando uma suposta instabilidade deposicional da lama.

Figura 27: Carta de distribuição pontual da classificação descritiva feita por Shepard (1954), cada amostra é identificada por uma determinada coloração que a conceitua dentro das classes na tabela.



Na figura abaixo, se pode notar que a predominância média das classes granulométricas de Shepard é o da classe silte, essa classificação demonstrou ser a mais interessante na determinação dos sedimentos desse trabalho por sua predominância siltica.

Figura 28: Gráfico do percentual granulométrico a partir de Shepard.



7.6.2 Classificação por Pejrup

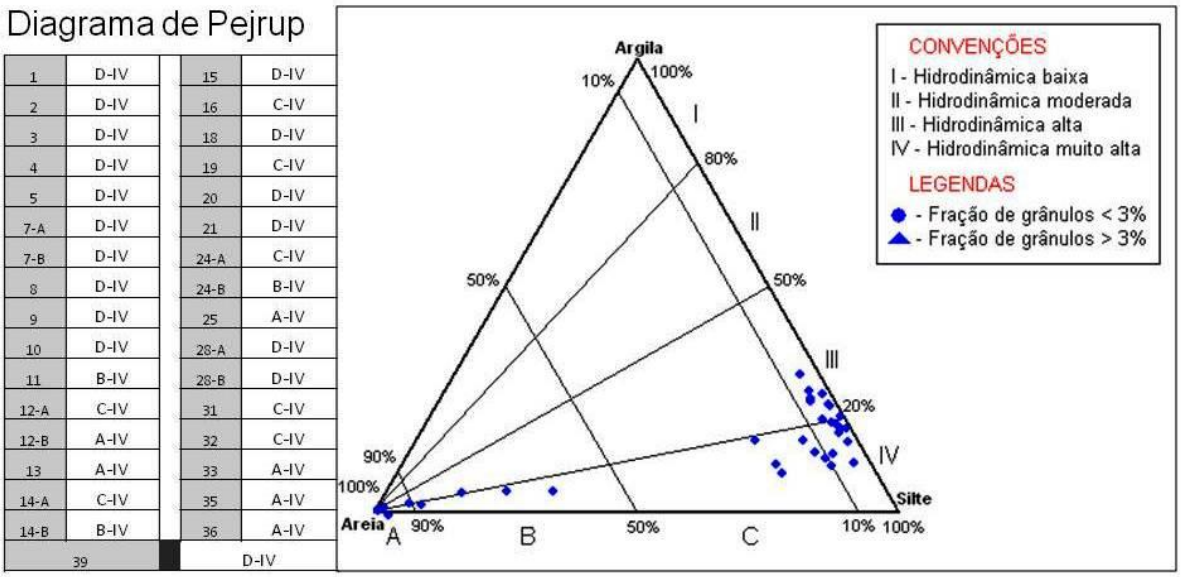
Em 1988, o sedimentólogo dinamarquês Morten Pejrup propôs um novo esquema classificativo, com o intuito de analisar as condições hidrodinâmicas.

Este tipo de diagrama é analisado pela da razão silte /argila (os grupos I a IV). Os níveis energéticos são menores quando a porção lodosa do sedimento é maior predominando a argila, e mais intensa quando o silte predomina sobre a argila. Obtêm-se, assim, 16 classes texturais, identificadas por uma letra e um número romano, correspondendo à classe A-IV ao regime energético mais intenso, e a classe D-I ao regime hidrodinâmico mais calmo.

O diagrama proposto fica dividido em quatro seções. A seção I caracteriza ambientes com condições hidrodinâmicas muito baixas, enquanto que as seções II, III e IV, caracterizam ambientes com aumento gradativo da energia.

Desta maneira Pejrup (1988) divide o diagrama em 16 grupos, nomeados por letras que indicam o tipo de sedimento e por números que indicam as condições hidrodinâmicas reinantes durante a deposição (Fig. 28).

Figura 29: Classificação granulométrica pelo diagrama triangular de Pejrup (1988) em cada identificação de amostras.



O diagrama de Pejrup mostra que a maioria das amostras representativas das classes D-IV estão localizadas nos principais canais de acesso e, são classificadas como sendo de alto valor energético, comprovando os resultados já esperados, onde no canal houvesse uma maior energia, resultado de uma hidrodinâmica acentuada na Foz do Rio Amazonas.

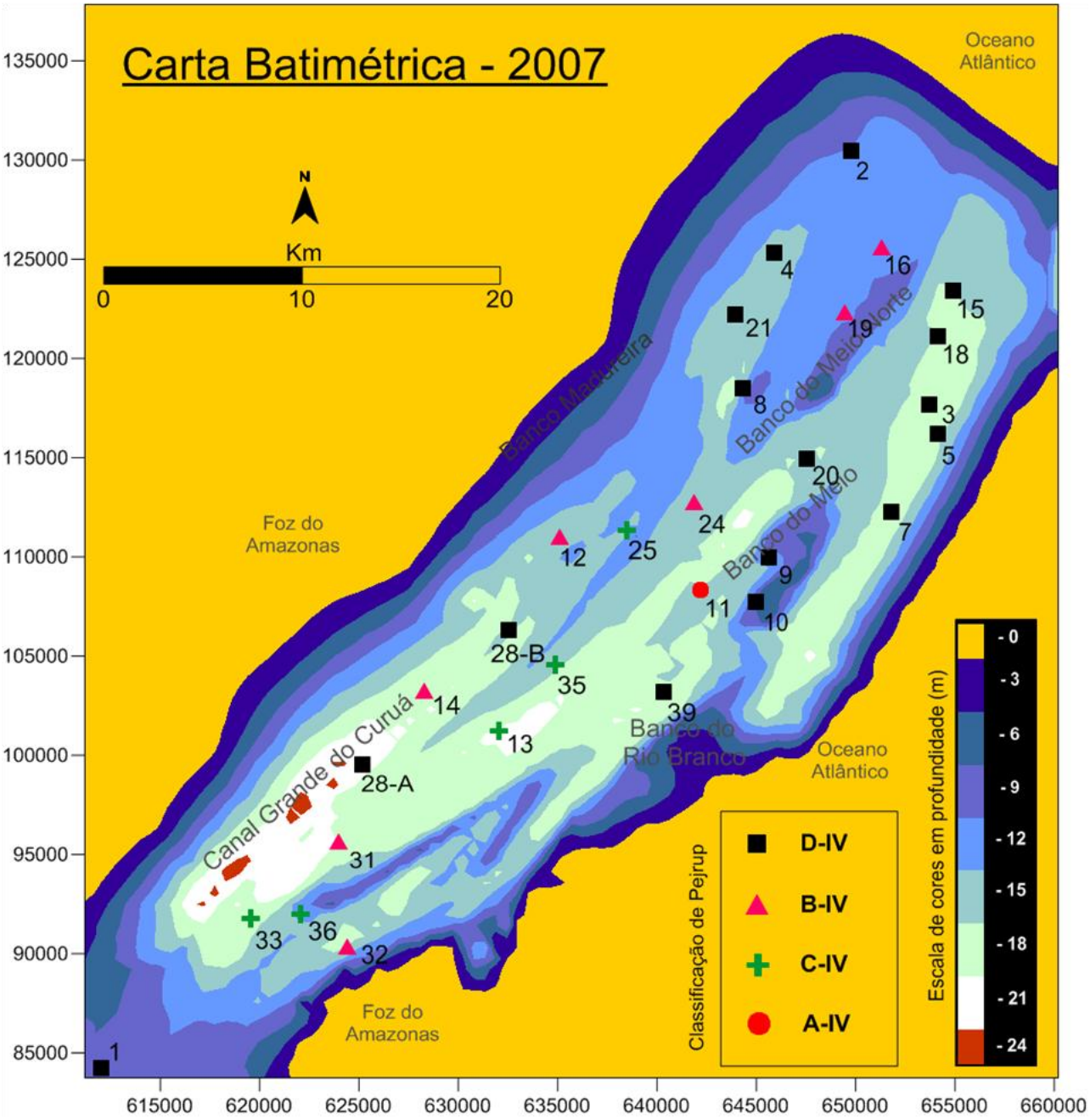
Uma elevada razão silte/argila dentro do Canal Norte caracterizou as amostras como integrantes das classes III e IV, de acordo com Pejrup, mostrando que a porção lodosa do sedimento é composta predominantemente por silte.

Uma análise mais detalhada da carta de sedimentos mostra uma tendência de migração/erosão do Canal Grande do Curuá, onde se pode perceber que a classe D-IV se encontra efetivamente na porção definida pelo canal e as demais classes C-IV, B-IV e A-IV representativas de um gradativo aumento de energia, encontram-se mais afastadas do meio do canal, como se estivessem avançando sua área de erosão para próximo dos bancos.

Essa hipótese é considerada no trabalho, na medida em que, se pode observar a evolução do padrão morfológico dos anos de 2001, 2007 e 2010, onde se ressaltou

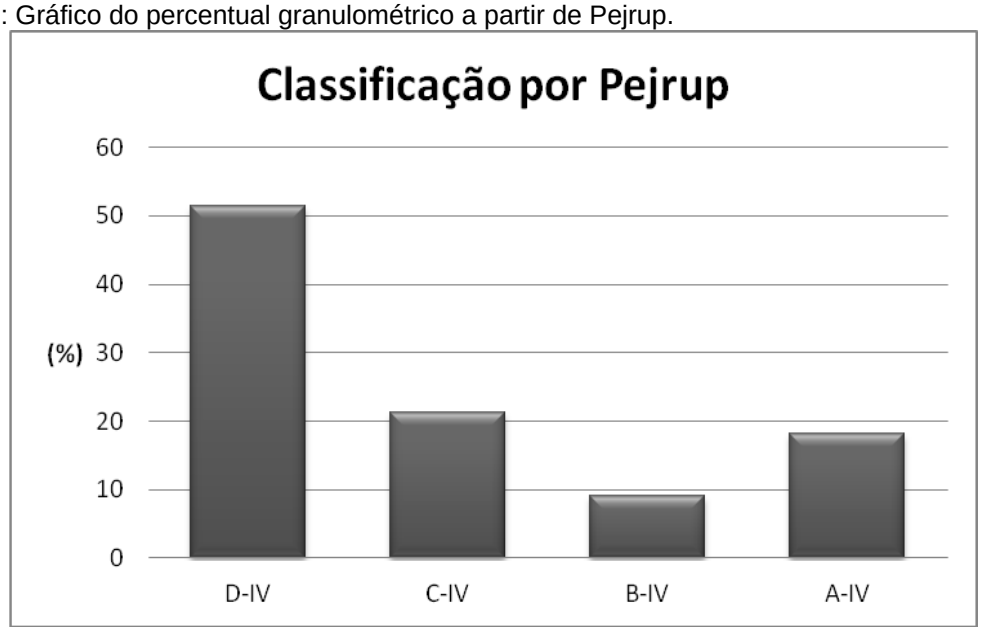
a constante variação de posição dos bancos, seguindo um sentido de SW para NE, supostamente ocasionado pela hidrodinâmica do Canal Grande do Curuá.

Figura 30: Carta de distribuição pontual da classificação descritiva feita por Pejrup (1988), cada amostra é identificada por uma determinada coloração e formato que a conceitua dentro das classes hidrodinâmicas na tabela.



Outro fator que Pejrup considera na hidrodinamica é a porção de areia nas amostras, quanto maior a quantidade de areia encontrada na amostra mais energético é o ambiente caracterizado, sendo as amostras do trabalho compostas e classificadas por: 18% compostas pela classe A-IV, 9% compostas pela classe B-IV, 21% compostas pela classe C-IV e 51% compostas pela classe D-IV.

Figura 31: Gráfico do percentual granulométrico a partir de Pejrup.

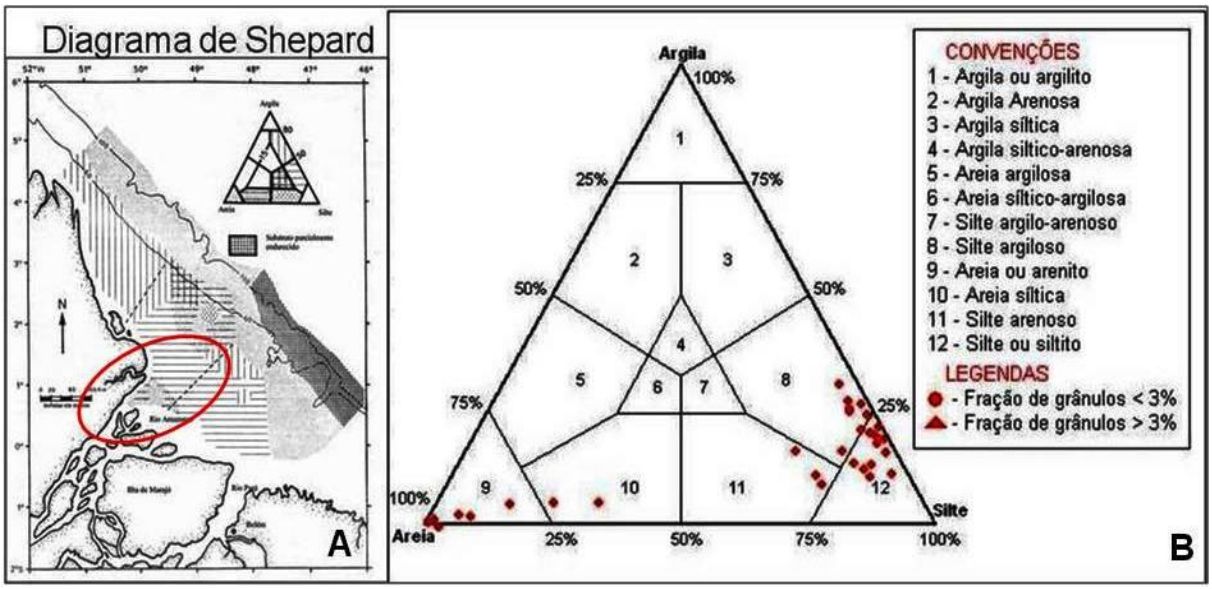


Essas análises puderam demonstrar o quanto a hidrodinâmica do Rio Amazonas de forma geral pode interferir na dinâmica dos sedimentos através do transporte ao longo dos canais de acesso, limitando a navegação nessas áreas. O padrão evolutivo dos sedimentos não pode ser inferido no trabalho, uma vez que, não se pode ter em mãos os dados de sedimento nos anos de 2001 e 2010 nas mesmas áreas onde foram realizadas as coletas em 2007, no entanto, as mudanças morfológicas puderam dar suporte às hipóteses de transporte sedimentar na área.

7.7 COMPARAÇÃO DO DIAGRAMA DE SHEPARD COM ESTUDOS REALIZADOS NA ÁREA

A figura abaixo mostra uma comparação dos resultados apresentados no trabalho com os resultados de (NITTROUER et al., 1983) modificado por Gabioux (2002). Na figura A, mais especificamente na região de estudo do presente trabalho, pode-se notar a predominância de areias interlaminadas compostas pelas classes areia e areia siltica no diagrama de Shepard ao longo do Canal Norte próximo a desembocadura do rio Araguarí. Na plataforma interna amazônica, há uma predominância da classe silte argiloso e na plataforma externa camadas mais duras e grande composição de areias.

Figura 32: Comparação entre os diagramas de Shepard (NITTROUER et al., 1983) modificado por Gabioux (2002) e o diagrama apresentado no trabalho.



Na área circundada, área do levantamento, pode-se relacionar os trabalhos de Nittrouer na década de 80 do século passado com os dados atuais de sedimentologia. A composição majoritária de areia e silte, resultados encontrados por Nittrouer naquele ano, demonstrou a composição do substrato do Canal Norte e mensurou as características hidrodinâmicas desses materiais, uma vez que, no diagrama de Pejrup os níveis de energia, por eles caracterizados, são considerados altos a muito altos mostrando a grande influência da descarga do rio Amazonas na dinâmica sedimentar vigente no local.

8 CONCLUSÃO

A morfologia de fundo da área estudada é caracterizada pela alta dinâmica e migrações no tempo e espaço de feições morfológicas (barras e canais), conforme demonstrado nas análises multitemporais das cartas de contornos e perfis batimétricos.

Os resultados das análises multitemporais da dinâmica batimétrica, evidenciaram na última década, mudanças tanto de ordem morfológica quanto batimétrica que foram evidenciadas na área estudada.

No contexto geral, ocorreu aumento de profundidade na área do Canal Grande do Curuá, pressupondo que a componente de descarga do Rio Amazonas juntamente com a vazante da maré possa ter uma superioridade em sua intensidade sobre a enchente, na foz do Rio Amazonas.

Algumas formas de fundo também deixaram de existir em alguns pontos sofrendo migrações, como por exemplo, a Barra do Meio Norte que sofreu intensos processos erosivos, a Barra do Meio que também sofreu erosão e migração, mas que foi menos intensa que a da Barra do Meio Norte. Outras feições sofreram redução em suas dimensões, como é o caso do Banco Madureira e Banco do Rio Branco.

Levando em consideração a localização do Canal Grande do Curuá no decorrer dos dez (10) anos vem sofrendo uma erosão progressiva e migrando para nordeste (NE) chegando a cotas de profundidades em torno de 24 m, apresentando vantagens para a navegação no canal. Do ponto de vista do diagrama hidrodinâmico de Pejrup, o Canal Grande do Curuá corresponde à unidade morfológica com hidrodinâmica mais significativa, com setores que sofreram alargamento e aumento de profundidades em praticamente toda a sua extensão.

A área em estudo não apresenta restrições batimétricas à navegação, pois seus canais apresentam grandes profundidades, com alguns setores do Canal Grande do Curuá chegando a valores superiores a 20 m, porém é aconselhável o monitoramento das formas de fundo, sobretudo os bancos.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Bacia do Amazonas**. 2011.<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/>. Acesso em: outubro de 2011.

AYRES NETO, A.; FALCÃO, L. C.; AMARAL, P. J. T. Caracterização de ecofácies na margem continental norte brasileira – estado do conhecimento. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, supl. 1, p. 97-106. 2009.

BRANDÃO, J. A. S. L. **Revisão e atualização estratigráfica das bacias da Foz do Amazonas e Pará – Maranhão**. Rio de Janeiro, 1990. 119 p. (Relatório Interno da Petrobras).

BRANDÃO, J. A. S. L; FEIJÓ, F. J. Bacia da Foz do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v.8, n.1, p. 91–99. 1994.

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**, 32 (2): 109 - 118. 2005.

COMANDO DO CONTROLE NAVAL DO TRÁFEGO MARÍTIMO (COCONTRAM). **Tráfego de transportes fluvio-marítimos no porto de Macapá**. 2006. <http://www.mar.mil.br/comcontram/>. Acesso em: março de 2009.

CT-HIDRO. **Estudo comparativo da hidrodinâmica e sedimentação nas várzeas e planícies de maré do sistema hídrico do Amazonas**. 2008ª. (Relatório 1ª. Campanha de Campo em Planícies de Maré. Projeto MCT/CNPq/CT-HIDRO nº 55.2772/2005-4.).

CUNHA, A.C.; BRASIL Jr., A. C. P.; COELHO, J. G.; SOUSA, M.; FLOURY, C.; AVELAR, S. B. Estudo numérico do escoamento superficial na foz do Rio Matapi – Costa Interna Estuarina do Amapá. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS TÉRMICAS – ENCIT, 11., 2006., Paraná- PR. **Anais** Paraná- PR: ECT, 2006. (prelo). 1 CD-ROM.

DIAS, J. A. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos**. Algarve: Universidade do Algarve, 2004. E-books. Disponível em: <>. Acesso em: junho de 2011

DOMINGUES, C. Issues of local and global use of water from the Amazon, ch. 5. 2004.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. ; MARTIN, L. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas a desembocaduras dos rios São Francisco *(SE/AL),* Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Rev. Bras. Geoc**. v.13, n.3, p.98-105. 1983.

DOCAS DE SANTANA (CDSA). **Porto de Santana-Amapá. Histórico** <http://www.docasdesantana.com.br/sobre.php>. Acesso em dezembro de 2011.

DYER, K.R. **Estuaries. A physical introduction**. 2 ed. Chichester, England: John Wiley & Sons, 1997.

ELIAS, V.O. **Biogeoquímica molecular do carbono orgânico e contribuição de queimadas em sedimentos e aerosóis da Amazônia**. 2000. 106f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.

FAAS, R. W. Time and density-dependent properties of fluid mud suspensions, NE brazilian continental shelf, **Geo-Marine Letters**, v. 4, p. 147-152. 1985

FERNANDES, R. D, VINZON, S. B; OLIVEIRA, F. A. M. Navigation at the Amazon River mouth: sandbank migration and depth surveying. **In Wade Watson** (ed.), Ports 2007: Thirty Years of Sharing Ideas.1977-2007. San Diego. p.25-28. 2007.

FIGUEIREDO, A. G.; GAMBOA, L. A. P, GORINI, M. A.; ALVES, E, C. Natureza da sedimentação atual do Rio Amazonas testemunhos e geomorfologia submarina, canyon Amazonas testemunhos submarinos. In: CONG. BRAS. DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. 2: **Anais**. Belém: SBG, 1972. p.51–56.

FLEXOR, J. M.; MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. M. L. Gênese dos cordões litorâneos da parte central da costa brasileira. In: LACERDA, L.D.; ARAUJO, D. S. D; CERQUEIRA, R.; TURCQ, B. J. (Eds.) **Restingas**: origem, estrutura, processos. Niterói: CEUFF, 1984. p. 35-45.

GABIOUX, M. Influência da lama em suspensão na propagação da maré na plataforma Amazônica [Rio de Janeiro] 2002. P. 99 (COPPE/UFRJ, M.Sc.,Engenharia Civil, 2002) Tese (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2002.

GEYER, W.R.; BEARDSLEY, R.C.; CANDELA, J.; CASTRO, B.M.; LEGECKIS,R.V.; LENTZ, S.J.; LIMEBURNER, R.; MIRANDA, L.B.; TROWBRIDGE, J.H. The physical oceanography of the Amazon outflow. **Oceanography**, n. 4, p. 8-14. 1991.

GEYER, W. R; BEARDSLEY, R .C; LENTZ, S. J; CANDELA, J; LIMEBURNER, R; JOHNS, B. M; CASTRO, B. M; SOARES, I. D. Physical oceanography of the Amazon shelf. **Continental Shelf Researche**, v.16, n.5/6, p. 575-616. 1996.

GIBBS, R. J. The bottom sediments of the Amazon shelf and the tropical Atlantic Ocean, **Marine Geology**, v. 14, p. M39-M45. 1973

GRATIOT, N., GARDEL, A.; POLIDORI, L. Remote sensing based bathymetry on the highly dynamic Amazonian coast, 9th **International Coastal Symposium**, Iceland, 13 p. 2005.

HERNDON L. T. W. L. Exploration of the valley of the Amazon made under direction of the Navy Department. Part 1:U.S. **Senate Executive Document** No. 36, 32nd Congress, 2nd Session. 1853.

JAEGER JM & NITTROUER CA. Tidal controls on the formation of fine-scale sedimentary strata near the Amazon River mouth. **Marine Geology**, v.125. p. 259–281. 1995.

KINEKE, G. C., STERNBERG, R. W., TROWBRIDGE, J. H., Geyer W.R et al. Fluid-mud Processes on the Amazon Continental Shelf. **Continental Shelf Researche**. v. 16, n. 5/6, 1996.

KINEKE, G. C.; STERNBERG, R. W. Distribution of fluid mud on the Amazon continental shelf. **Marine Geology**, special issue: Geological Significance of Sediment Transport and Accumulation on the Amazon Continental Shelf, v. 125, n. 3/4, p. 193-233. Jul. 1995.

KUELH, S. A.; NITTROUER, C. A.; DeMASTER, D. J. Modern sediment accumulation and strata formation on the Amazon continental shelf. **Marine Geology**, v. 49, p. 279-300. 1982.

KUELH, S. A., NITTROUER, C. A., DeMASTER, D. J. Distribution of sedimentary structures in the Amazon Subaqueous delta, **Continental Shelf Research**, v. 6, n. 1/2, p. 311-336. 1986.

KUELH, S. A., NITTROUER, C. A., ALLISON, M. A., Faria, D. A. et al. Sediment deposition, accumulation, and seabed dynamics in an energetic fine-grained coastal environment. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 5/6, p. 787-815. 1996.

LEFEBVRE, J. P., DOLIQUE, F. & GRATIOT, N. Geomorphic evolution of a coastal mudflat under oceanic influences: an example from the dynamic shoreline of French Guiana. **Marine Geology**. V. 208 p. 191-205. 2004.

Lentz, S. J. The Amazon River plume during AMASSEDS: sub tidal current variability and the importance of wind forcing. **J. Geophysics**. Res., 100: p. 2377-2390. 1995.

MASSON, S.; DELECLUSE, P. Influence of the Amazon River Runoff on the Tropical Atlantic. **Physical Chemical Earth** (B), v.26 nº 2. P. 137-142. 2001.

MEADE, R. H.; DUNNE, T.; RICHEY, J. E., Santos U. de M. et al. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. **Science**, v. 228, p. 488-490. Apr. 1985.

MENEZES, L. **Mapeamento digital de análogos a reservatórios petrolíferos**: exemplos para depósitos fluviais da unidade Açu-3 - Bacia Potiguar. 2004. 118f. Dissertação (Mestrado) - PPGG/UFRN. 2004.

MIALL, A. D. A review of the braided-river depositional environment. **Earth Science Reviews**, v. 13, p. 1-62. 1977.

MIGUENS, A. P. **Navegação**: a ciência e a arte - navegação costeira, estimada e em águas restritas. Rio de Janeiro, Brasil: DHN, 1996. v.1, 538 p.

MIRANDA, L. B; CASTRO, B. M.; KIERFVE, B. **Princípio de oceanografia física**. São Paulo: Edusp, 2002.

NITTROUER, C. A.; ALEXANDER, C. R.; KOWSMANN, R. O.; De MASTER, D. J. High-Resolution Seismic Stratigraphy of the Amazon continental Shelf. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., 1988, Belém, Pará. **Anais.** Belém. SBG, v.2, p. 466–480. 1988.

NITTROUER, C. A.; DeMASTER, D.J. Sedimentary process on the Amazon Continental Shelf: past, present and future research. **Continental Shelf Research**, v.6(1/2), p.5-30. 1986.

NITTROUER, C. A., SHARARA, M. T., DeMASTER, D. J. Variations of sediments texture on the Amazon continental shelf, **Journal Sediment Petrology**, v. 53, p. 179-191. 1983.

NITTROUER, C. A., KUEHL, S. A., FIGUEIREDO, A. G., ALLISON, M. A., SOMMERFIELD, C. K., RINE, J. M., FARIA, L. E. C., SILVEIRA, O. M., The geological record preserved by Amazon shelf sedimentation. **Continental Shelf Research** v. 16, p. 817-841. 1996.

NITTROUER, C. A., KUEHL, S. A., STERNBERG, R. W., FIGUEIREDO JR., A. G.,FARIA JR., L. E. C. An introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. Geological Significance of Sediment Transport and Accumulation on the Amazon Continental Shelf. **Marine Geology** v. 125 p. 177-192. 1995.

NORDIN, C. F. Jr; MEADE, R. H.; MAHONEY, H. A.; DELANEY, B. M. Particle size of sediments collected from the bed of the Amazon River and its tributaries in June and July 1976. U.S. **Geological Survey** Open-File Report 77-400, 18p. 1977.

OLIVEIRA, F. A. M.; VINZON, S. B. Mudanças na morfologia do canal de navegação grande do Curuá, Barra Norte do Amazonas, **VI ENES**, Victoria, ES. In: **Proceedings**, 2004.

OLTMAN, R. E. Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon River. U. S. **Geological Survey Circular** 522, 16p. 1968.

PALMA J. J. C. Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira. **Série Projeto REMAC**, v. 7 p. 25–51. 1979.

POSEWANG, J., STATTEGGER, K., TORRES, A. M., VITAL, H., THEILEN, F.,FARIA, JR., L. E. C. Riverbed morphology and sedimentary structures in the lowermost Amazon River (Rio Xingu,Canal do Norte, Canal do Sul). V Cong. Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. XI Simposio de Sedimentologia Costeira. UFF-Niteroi, RJ. **Anais**, p. 259–264. 1995.

RICCOMINI, C.; GIANI, P. C. F. & MANCIN, F. Rios e processos aluviais. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO. M.C.M.; FAIRCHILD. T.R.; TAIOLI. F. (eds.).**Decifrando a Terra**. São Paulo. Oficina de Texto. p. 192-214. 2000.

ROSS, M. A., MEHTA, A. J. On the mechanics of lutoclinas and fluid mud, **Journal of Coastal Research**, v. 5, p. 51-62. 1989.

SANTOS, V. F. dos. 2002. **Modificações Ambientais em Ecossistemas Costeiros Amazônicos: Identificação e Avaliação de Interferências Naturais e Antrópicas através de Sensores Remotos.** Tese de doutorado em geofísica e geologia marinha. UFF. Brasil

SCHALLER H. 1971. Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas. **Anais do 25º Congresso Brasileiro de Geologia**, São Paulo, 189–202.

SCHUM, S.A.; Evolution and response of the fluvial system, sedimentological implications. In: EARTHRIDGE, F.G. & FLORES, E.D. (eds.). Recent and ancient nonmarine depositional environment: models for exploration. **Soc. Econ. Paleontol. Mineral Spec**. Publ. 31:19-29; 1981.

SCHETTINI, C.A.F. 2001. **Dinâmica de sedimentos finos no estuário do rio Itajaí-Açu-SC.** Porto Alegre. 92p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências-UFRGS.

SHUBEL, J.R. & KENNEDY, V.S. 1984. The estuary as a filter: an introduction. In: Kennedy, V.S. (Ed.). The stuary as a filter. **Academic Press**, New York, p.1-11.

SILVEIRA, O.F.M., VITAL, H., LEAO, M.H.B., NASCIMENTO, M.C.H.,OLIVEIRA, S.A.C., REBELO, A.H.S., MENDES, A.C., FARIA, JR.,L.E.C., 1992. Estudo sonografico e batimetrico da regiao das Ilhas do Sul da Foz do Amazonas e regiao dos Estreitos. In: International Symposium on the Quaternary of Amazonia. Manaus. Brazil. PICG-Projeto 281. **Resumos e Contribuicoes Cientificas**, pp. 79–82.

SILVA, P. T. A. de F. **Evolução batimétrica do Canal de Santana e Canal Norte do Rio Amazonas – setor adjacente as cidades de Santana e Macapá/AP.** TCC. – Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 75 f. 2008.

SOMMERFIELD, C.K., NITTROUER, C.A. AND FIGUEIREDO, A.G., 1995. Stratigraphic evidence of changes in Amazon shelf sedimentation during the late Holocene. In: C.A. Nittrouer and S.A. Kuehl (Editors), Geological Significance of Sediment Transport and Accumulation on the Amazon **Continental Shelf. Mar. Geol**., 125: 351-371.

STERNBERG RW, CACCHIONE DA, PAULSON B, KINEKE GC & DRAKE DE. 1996. Observations of sediment transport on the Amazon sub- aqueous delta. **Continental Shelf Research**, 16(5/6): 697–715.

STERNBERG, R.W.; CACCHIONE, D.A.; PAULSON, B.; KINEKE, G.C.; DRAKE, D.E. 1996. **Continetal Shelf Research**, v.16(5/6), p.697-715.

SUGUIO, K. 1973. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 310pp.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE), EM 1110-2-1003 **Engineering and Design Hydrographic Surveying.** Change 1. Department of the Army, Washington, 1995

VILLWOCK J. A; LESSA G.C; SUGUIO K; ÂNGULO R. J; DILLENBURG S. R. Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. **Quaternário do Brasil**. São Paulo. Editora Holos,94-113. 2005.

VITAL H.; ESTEVES L. S.; ARAÚJO T. C. M.;PATCHINEELEM S. M. Oceanografia geológica e geofísica da plataforma continental brasileira. **Quaternário do Brasil**. São Paulo. Editora Holos,153-175. 2005.

VITAL, H., STATTEGGER, K., GARBE-SCHONBERG, D., Composition and trace elements geochemistry of detrital clay and heavy mineral suites of the lowermost Amazon River: a provenance study. **Journal of Sedimentary Research** 69, 563-575. 1999.

VITAL, H., STATTEGGER, K., POSEWANG, J., THEILEN, F., Lowermost Amazon River: morphology and shallow seismic characteristics. **Marine Geology** 152, 277-294. 1998.

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