

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

ESTUDOS SOBRE A INSTABILIDADE DO TERRENO NOS BAIRROS PINHEIRO, MUTANGE E BEBEDOURO, MACEIÓ (AL)

Volume II
RELATÓRIOS TÉCNICOS
H. Geofísica – Batimetria

Rio de Janeiro, maio de 2019



 **CPRM**
Serviço Geológico do Brasil

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial

Antônio Carlos Bacelar Nunes

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

José Leonardo Silva Andriotti

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Fernando Pereira de Carvalho

Diretor de Administração e Finanças

Juliano de Souza Oliveira

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

ESTUDOS SOBRE A INSTABILIDADE DO TERRENO NOS BAIRROS PINHEIRO, MUTANGE E BEBEDOURO, MACEIÓ (AL)

Volume II **RELATÓRIOS TÉCNICOS** **H. Geofísica – Batimetria**

Autoria

Processamento e interpretação

Eugênio Pires Frazão

Aquisição

Eugênio Pires Frazão

Ricardo Cavalcanti Santiago

Ronaldo Gomes Bezerra

Marcio Martins Valle

Victor Hugo Rocha Lopes

Rafael Correa de Melo

Marcelo de Queiroz Jorge

Colaboração da Equipe de Cartografia

Ricardo Duarte Oliveira

Fábio Silva da Costa

Rio de Janeiro, maio de 2019

COORDENAÇÃO INSTITUCIONAL

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT): Antônio Carlos Bacelar Nunes

COORDENAÇÃO TÉCNICA-EXECUTIVA

Coordenador-Geral: Thales de Queiroz Sampaio

Coordenação técnica: Maria Adelaide Mansini Maia e Jorge Pimentel, Departamento de Gestão Territorial (DEGET)

Assessoria: Helion França Moreira e Ricardo Moacyr de Vasconcellos, Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT)

Estudos de geologia aplicada: Sandra Fernandes da Silva, Divisão de Geologia Aplicada (DIGEAP)

Estudos de geomorfológicos e historicidade da ocupação: Marcelo Eduardo Dantas, Divisão de Gestão Territorial (DIGATE)

Estudos hidrogeológicos: Fernando Antônio Carneiro Feitosa, Departamento de Hidrologia (DEHID)

Estudos geofísicos: Lucia Maria da Costa e Silva, Gerência de Geologia e Recursos Minerais/Sup. Reg.de Belém (GEREMI/SUREG-BE), e Luiz Gustavo Rodrigues Pinto, Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica (DISEGE)

Estudos batimétricos: Hortência Assis, Divisão de Geologia Marinha (DIGEOM)

Estudos cartográficos: Fabio Costa, Divisão de Cartografia (DICART)

Modelagem geológica em ambiente 3D: Ricardo Wosniak e Eduardo Grissolia, Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória (DIEMGE)

Geoprocessamento: Denilson de Jesus, Divisão de Geoprocessamento (DIGEOP)

EQUIPE TÉCNICA

Alexandre Borba (Geólogo)

Alexandre Lago (Geólogo)

Amaro Luiz Ferreira (Geólogo)

Bruce Fabini Franco Chiba (Geofísico)

Bruno Elldorf (Geólogo)

Cipriano Gomes de Oliveira (Téc. em Geociências)

Daniel Moreira (Eng. Cartógrafo)

Dario Dias Peixoto (Geólogo)

Denilson de Jesus (Eng. Cartógrafo)

Eduardo Moussalle Grissolia (Geólogo)

Eugênio Pires Frazão (Geólogo)

Fábio Silva da Costa (Eng. Cartógrafo)

Fernando Antônio Carneiro Feitosa (Geólogo)

Fernando Lúcio Borges Cunha (Geólogo)

Giana Grupioni Rezende (Eng. Cartógrafo)

Gilmar Pauli Dias (Geólogo)

Heródoto Goes (Geólogo)

Hiran Silva Dias (Analista de sistemas)

Hortência Maria Barboza de Assis (Geóloga)

Ítalo Prata de Menezes (Geólogo)

Ivan Soares dos Santos (Téc. em Geociências)

Jairo Jamerson Correia de Andrade (Geofísico)

João Batista Freitas de Andrade (Geólogo)

Jorge Pimentel (Geólogo)

Jose Antônio da Silva (Geólogo)

Juliana Moraes (Geóloga)

Júlio Cesar Lana (Geólogo)

Larissa Flávia Montandon Silva (Geóloga)

Leandro Galvanese Kuhlmann (Geólogo)

Loury Bastos Mello (Geóloga)

Lúcia Maria da Costa e Silva (Geóloga)

Luiz Antônio R. Almendra (Téc. em Geociências)

Luiz Gustavo Rodriguez Pinto (Geofísico)

Marcelo Ambrósio Ferrassoli (Geólogo)

Marcelo de Queiroz Jorge (Geólogo)

Marcelo Eduardo Dantas (Geógrafo)

Marcio Junger Ribeiro (Téc. em Geociências)

Márcio Martins Valle (Oceanógrafo)

Maria Adelaide Mansini Maia (Geóloga)

Marília de Araújo Costa Rodrigues (Geofísica)

Nilo Costa Pedrosa Júnior (Geólogo)

Patrícia Durringer Jacques (Geóloga)

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff (Geólogo)

Rafael Corrêa de Melo (Geólogo)

Ricardo Cavalcanti Santiago (Geofísico)

Ricardo Duarte de Oliveira (Eng. Cartógrafo)

Ricardo Wosniak (Geólogo)

Roberto Gusmão de Oliveira (Geólogo)

Rodrigo Luiz Gallo Fernandes (Geólogo)

Ronaldo Gomes Bezerra (Geólogo)

Rubens Esteves Kenup (Eng. Cartógrafo)

Rubens Pereira Dias (Geólogo)

Sandra Fernandes da Silva (Geóloga)

Thales de Queiroz Sampaio (Geólogo)

Thiago Dutra dos Santos (Geólogo)

Tiago Antonelli (Geólogo)

Valter José Marques (Geólogo)

Vanildo Almeida Mendes (Geólogo)

Victor Augusto Hilquias Silva Alves (Geólogo)

ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO

Warley Aparecido Pereira (Jornalista)
Letícia de Barros Alves Peixoto (Jornalista)
Pedro Henrique Pereira dos Santos (Comunicador Organizacional)

ASSESSORIA JURÍDICA

Vilmar Medeiros Simões (Consultor Jurídico)

COLABORAÇÃO E AGRADECIMENTOS

Prof. Dr. Aderson Farias do Nascimento, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Prof. Dr. André Etienne Ferraz, Universidade Federal Fluminense (UFF)
Prof. Dr. André Ferrari, Universidade Federal Fluminense (UFF)
Prof. Dr. Emanuel Jardim de Sá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Geólogo Guilherme Estrela, Ex-diretor de Exploração e Produção da Petrobras
Prof. Dr. Luiz Antônio Pierantoni Gamboa, Universidade Federal Fluminense (UFF)
Geólogo Ricardo Latgé Milwart de Azevedo, Conselho-Diretor do Clube de Eng. e Conselheiro do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro (CREA-RJ)
Prof. Me. Abel Galindo Marques, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Profa. Dra. Regla Toujaguez La Rosa Massahud, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)
Prof. Me. Nagib Charone, Universidade Federal do Pará (UFPA)
Governo do Estado de Alagoas
Prefeitura de Maceió
Defesa Civil Nacional
Defesa Civil do Estado de Alagoas
Defesa Civil de Maceió
59º Batalhão de Infantaria Motorizada
Equatorial Energia Alagoas
United States Geological Survey (USGS)

APOIO CPRM

Coordenação de Eventos e Cerimonial (DIG)	Divisão de Cartografia (DICART)
Departamento de Gestão Territorial (DEGET)	Divisão de Informática (DIINFO)
Departamento de Hidrologia (DEHID)	Superintendência Regional de Belém (SUREG-BE)
Departamento de Administração de Material e Patrimônio (DEAMP)	Superintendência Regional de Belo Horizonte (SUREG-BH)
Departamento de Contabilidade, Orçamento e Finanças (DECOF)	Superintendência Regional de Goiânia (SUREG-GO)
Departamento de Informações Institucionais (DEINF)	Superintendência Regional de Manaus (SUREG-MA)
Divisão de Editoração Geral (DIEDIG)	Superintendência Regional de Recife (SUREG-RE)
Divisão de Gestão Territorial (DIGATE)	Superintendência Regional de Salvador (SUREG-SA)
Divisão de Geologia Aplicada (DIGEAP)	Superintendência Regional de São Paulo (SUREG-SP)
Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica (DISEGE)	Residência de Fortaleza (REFO)
Divisão de Geologia Marinha (DIGEOM)	Residência de Porto Velho (REPO)
Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória (DIEMGE)	Residência de Teresina (RETE)
Divisão de Geoprocessamento (DIGEOP)	Escritório do Rio de Janeiro
	Sede Administrativa Brasília/DF

APRESENTAÇÃO

Historicamente, o bairro Pinheiro, localizado no município de Maceió (AL), vem apresentando inúmeras fissuras, trincas, rachaduras e afundamentos em moradias e vias públicas. O fenômeno se intensificou com a forte chuva de verão de 15 fevereiro de 2018 e o evento sísmico de magnitude regional igual a 2,4 de 3 de março de 2018 ocorridos na região, que levaram inclusive à interdição de diversas moradias.

Em decorrência, foi solicitada a presença de técnicos do Serviço Geológico do Brasil - CPRM por meio dos ofícios nº 044/2018 – CEDEC-AL e nº 34/2018 – PJC/MPE/AL para auxiliar na investigação das causas do fenômeno responsável pelos danos gerados a alguns imóveis e vias públicas localizados no bairro Pinheiro, posteriormente identificados também nos bairros vizinhos do Mutange e Bebedouro, o que levou à extensão da investigação.

Os resultados obtidos até a presente data pelos diversos métodos investigativos utilizados pela CPRM no período de junho de 2018 a abril de 2019 estão organizados nos seguintes três volumes, com pormenores sobre a metodologia utilizada, de modo a responder a portaria MME nº 20 de 11 de janeiro de 2019, que se refere à designação do Serviço Geológico do Brasil para elucidar as causas do fenômeno.

➤ **Volume I – Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL): relatório síntese dos resultados nº 1.**

Apresenta os principais resultados obtidos nas investigações de forma resumida e adequada ao público não especialista.

➤ **Volume II – Relatórios Técnicos**

Compreende os seguintes relatórios que embasaram o volume I, que poderão sofrer seja atualização, seja aprofundamento, com o avanço dos trabalhos ou aquisição de novas informações:

- A. Mapa de feições de instabilidade do terreno
- B. Levantamento interferométrico
- C. Levantamento cartográfico
- D. Aspecto geológico e estrutural
- E. Aspecto geomorfológico e do histórico de ocupação do bairro
- F. Caracterização geológico-geotécnica
- G. Geofísica – Radar de Penetração do Solo (GPR) em residências e em vias públicas
- H. Geofísica – Batimetria na lagoa Mundaú
- I. Geofísica – Eletrorresistividade

- J. Geofísica – Gravimetria
- K. Geofísica – Audiomagnetotelúrico (AMT)
- L. Geofísica – Sismologia
- M. Hidrogeologia
- N. Integração de dados geológicos e de extração de sal em ambiente 3D

➤ **Volume III – Sistema de Informações Geográficas**

Reúne as informações vetoriais e matriciais georreferenciadas (geoinformação) utilizadas ou geradas pelo presente estudo, organizadas no Sistema de Informação Geográfica (SIG), para uso em *softwares* de geoprocessamento. Os dados estão no formato *shapefile*, com projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) 25S, Datum SIRGAS2000.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
OBJETIVOS	8
OBJETIVOS GERAIS	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GERAIS	9
MATERIAIS E MÉTODOS	10
PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E CARTOGRÁFICA	10
AQUISIÇÃO DE DADOS EM CAMPO	11
<i>Instalação e Calibração da Estação Maregráfica</i>	11
<i>Aquisição dos Dados Hidroacústicos Batimétricos</i>	18
PROCESSAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS	22
LAGOA MUNDAÚ	23
ANÁLISE DOS DADOS BATIMÉTRICOS	25
RECOMENDAÇÕES	30
SONAR DE VARREDURA LATERAL (SVL)	32
LEVANTAMENTO SÍSMICO COM SUB-BOTTOM PROFILE E MONOCANAL COM BOOMER E/OU SPARKER	32

INTRODUÇÃO

O presente trabalho se refere ao cumprimento de uma demanda do Departamento de Gestão Territorial (DEGET) para a Divisão de Geologia Marinha (DIGEOM) para realização do levantamento batimétrico na lagoa de Mundaú. Os técnicos da CPRM da Área de Risco Geológico identificaram com subsídio de imagens de satélite fundos circulares não conhecidos e que não constavam da última batimetria realizada na região em 2012 pela CPRM e a Agência Nacional de Águas (ANA).

Portanto, foi sugerida a realização de um levantamento batimétrico e sísmico detalhado com espaçamento a cada 50 metros da lagoa de Mundaú até sua foz, com o intuito de caracterizar a morfologia do fundo e determinar a espessura do pacote sedimentar com a utilização da sísmica de alta resolução.

O entendimento atual da superfície do fundo lagunar e o conhecimento do pacote sedimentar que está capeando a lagoa de Mundaú corrobora para o entendimento do problema de movimentação de massa, erosão, rachaduras nos imóveis e no solo do bairro do Pinheiro em Maceió (AL).

Neste relatório está incluída toda a metodologia utilizada, processamento a que os dados foram submetidos e discussão dos resultados obtidos. As atividades relacionadas ao levantamento batimétrico na lagoa de Mundaú no período entre 06 a 24 de janeiro de 2019 (etapa de campo), além do processamento em gabinete entre 28 de janeiro a 05 de fevereiro de 2019 (etapa de gabinete).

OBJETIVOS

OBJETIVOS GERAIS

O presente relatório objetiva apresentar os resultados do levantamento batimétrico da lagoa de Mundaú, com a combinação com os dados altimétricos obtidos pelo satélite ALOS com resolução espacial de 5 metros, para dar indicativos e/ou as causas do surgimento de rachaduras nos imóveis e no solo do bairro do Pinheiro em Maceió (AL). Este estudo é importante tanto do ponto vista científico, bem como para o desenvolvimento da região e gerenciamento do uso e ocupação do solo no entorno da lagoa de Mundaú, já que este conhecimento é de fundamental importância para o monitoramento do espelho de água e do assoreamento da lagoa, proveniente do rio Mundaú e das bacias hidrográficas do Silva e Reginaldo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Manutenção e calibração da estação maregráfica instalada no cais do Porto de Maceió;
- Transporte de referência de nível (RN) do Porto de Maceió para o local da régua de maré instalada na Marina Lago Mar e para as Plataformas de Coleta de Dados (PCD) instaladas no Instituto de Meio Ambiente de Alagoas (IMA) e em Coqueiro Seco;
- Levantamento de perfis batimétricos equidistantes a cada 50 metros na lagoa de Mundaú e ao longo do seu canal de acesso;
- Elaboração da carta batimétrica com isóbata em metros, em escala de 1:5000 da lagoa de Mundaú;
- Elaboração de bloco diagramas em 3D com a combinação de dados batimétricos e altimétricos, utilizando os *softwares* Oasis Montaj e Surfer 14;
- Processamento Digital de Imagem (PDI) das imagens multiespectrais da Rapideye no *software* ER Mapper 7.1;
- Processamento dos Dados Altimétricos provenientes do satélite ALOS;
- A partir dos dados adquiridos da lagoa de Mundaú, indicar as possíveis causas e/ou hipóteses para solucionar os problemas de rachaduras no bairro do Pinheiro.

LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GERAIS

A lagoa de Mundaú faz parte do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), situada na região metropolitana de Maceió (AL) (Fig. 1). A lagoa Mundaú possui uma área em torno de 27,0 Km² é alimentada principalmente pelo rio Mundaú, com vazões médias da ordem de 8,0 m³/s na época seca e 50 m³/s na época chuvosa. As frequentes enchentes do rio Mundaú, que atingem a porção norte da lagoa, juntamente com as variações de maré, exercem grande influência no sistema hídrico lagunar.

Inseridos na área de estudo estão: a unidade de extração de sal-gema, conjuntos habitacionais, hospitais, órgãos estaduais (Instituto do Meio Ambiente), escolas estaduais e particulares, além de pequenos estabelecimentos comerciais.

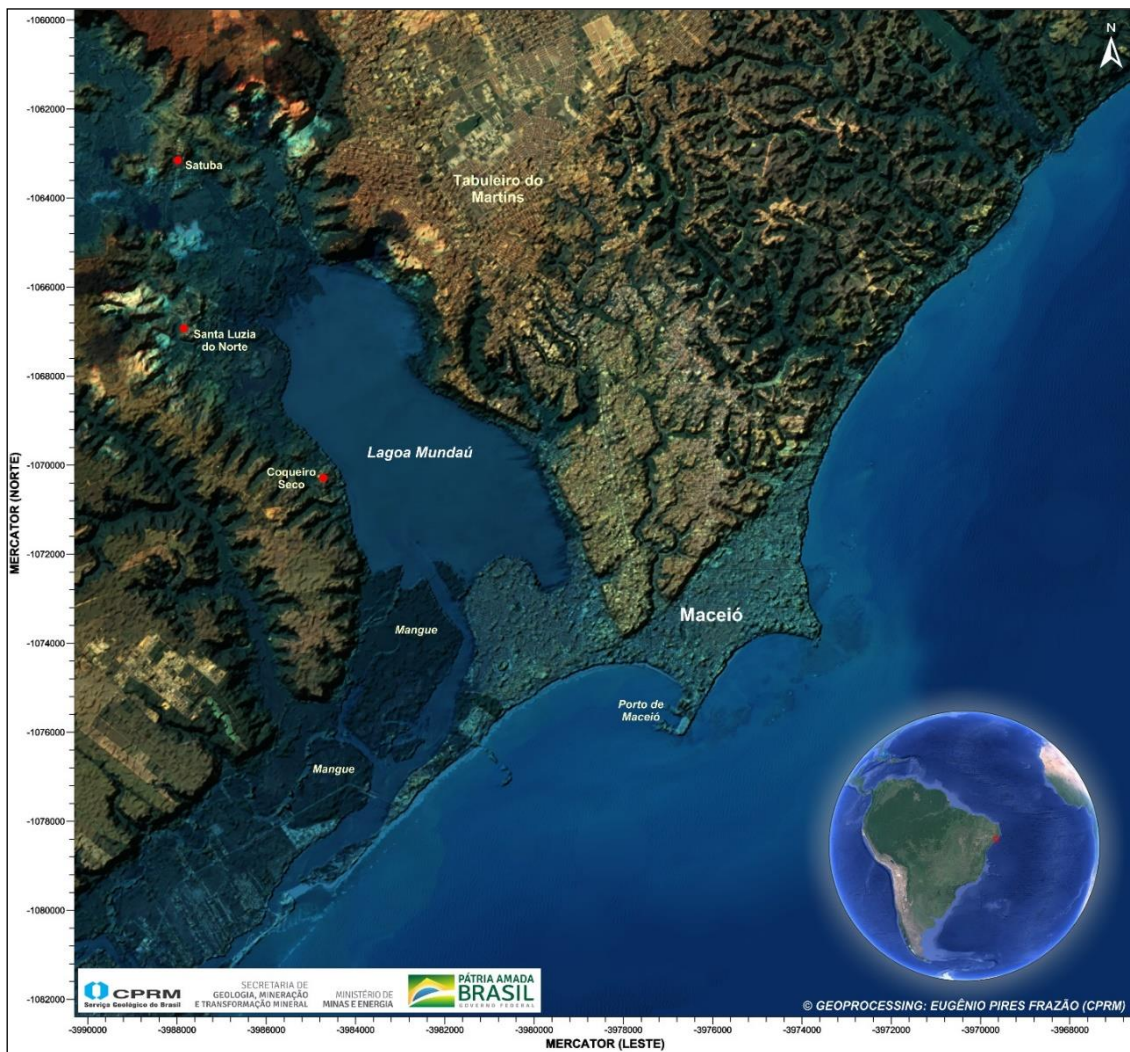


Figura 1. Mapa de localização da lagoa de Mundaú em relação à cidade de Maceió (AL).

MATERIAIS E MÉTODOS

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E CARTOGRÁFICA

Esta etapa constou do levantamento das publicações relacionadas ao cenário geológico regional, da metodologia utilizada nas diferentes etapas deste trabalho, bem como estudos geológicos costeiros realizados em áreas quaternárias de outros setores da costa brasileira e de países com contexto geológico semelhante ao litoral do Estado de Alagoas, principalmente naqueles dominados por regimes de mesomarés.

Para este trabalho foram consultadas dissertações, teses, páginas eletrônicas, relatórios, periódicos especializados e livros, bem como mapas existentes da região costeira, incluindo cartas planialtimétricas, batimétricas, fotografias aéreas e imagens de satélite.

A partir da base cartográfica georeferenciada digital no formato raster e na extensão *BSB da carta náutica nº. 920, foi realizado o primeiro passo de mensurar a área onde se realizariam os levantamentos e georeferenciar a base cartográfica para o datum WGS-84 e projeção UTM, utilizando-se os *softwares* ENVI 4.0 e Surfer v.14. Em seguida essa base cartográfica foi inserida no *software* HYPACK 2012, onde foram definidas as seções batimétricas na lagoa de Mundaú.

Então foram criados 270 perfis batimétricos distribuídos ao longo da lagoa de Mundaú e do canal de acesso, nos quais foram realizados 317 km de sondagem na região de um total planejado de 650 km, com a utilização do *software* HYPACK 2012. Ressalta-se que os perfis batimétricos sondados foram traçados com uma extrapolação de 50 metros para cada lado, ou seja, com uma sobrelargura de 50 metros para cada lado, a partir da área a ser sondada planejada pela CPRM.

AQUISIÇÃO DE DADOS EM CAMPO

Instalação e Calibração da Estação Maregráfica

No dia 6 de janeiro de 2019 às 10:00 horas, foram solicitadas informações junto a equipe de engenheiros da APMC e ao Serviço de Sinalização do Nordeste (SSN-3) referente ao funcionamento da estação maregráfica localizada no Porto de Maceió. Então foi repassada a ficha F-41-901-001/06 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), porém não existia mais a estação maregráfica no Porto de Maceió.

A estação maregráfica instalada no Porto de Maceió, com as seguintes coordenadas geográficas $09^{\circ} 41'0''$ S e $35^{\circ} 43'5''$ W, foi nivelada no dia 9 de janeiro de 2019 às 08:00h com duas referências de nível (RN-2 e RN-3), como mostra o diagrama de nivelamento (Fig. 2). Neste nivelamento foi instalada uma régua de madeira pintada de amarelo com 4 metros de comprimento e múltiplos de metro pintados de preto (Fig. 3). O nível de redução calculado para esta estação foi de 65,9 cm acima do zero da régua, sendo este nível obtido a partir do nivelamento geométrico da estação maregráfica. Em seguida, foi instalado um marégrafo digital da marca HOBBO modelo U20L-04 capaz de medir amplitude de maré de até 4 metros (Fig. 4).

Além da estação maregráfica do Porto de Maceió, foram utilizadas as estações hidrográficas da Agência Nacional de Águas (ANA) gerenciadas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) do Estado de Alagoas, localizadas no Instituto de Meio Ambiente de Alagoas (IMA) e em Coqueiro Seco (Fig. 5).

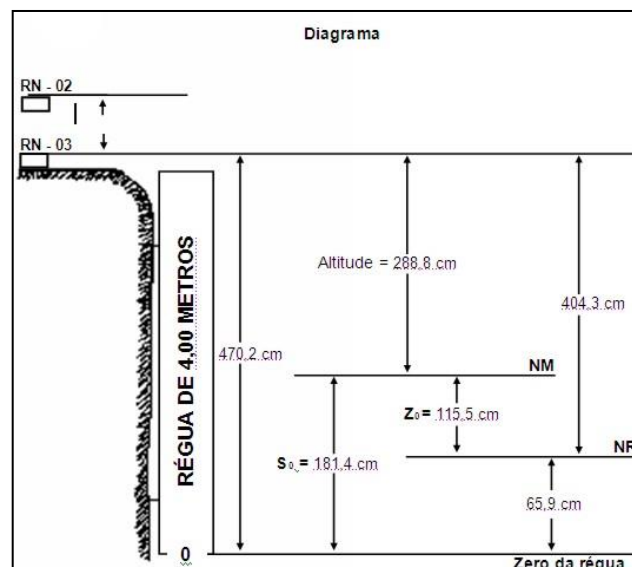


Figura 2. Esquema do nivelamento geométrico da estação maregráfica instalada no Porto de Maceió.



Figura 3. Nivelamento geométrico da estação maregráfica instalada no Porto de Maceió.



Figura 4. Instalação do marégrafo digital da marca HOBO modelo U20L-04 capaz de medir amplitude de maré de até 4 metros.



Figura 5. Estações hidrográficas automatizadas PCD's gerenciadas pela SEMARH, localizadas no IMA e em Coqueiro Seco.

Além da utilização das estações PCD do IMA e Coqueiro Seco pertencente à ANA/SEMARH para o cálculo do prisma e da fase de maré até a lagoa de Mundaú, foi instalada uma régua de 3 metros na Marina Lago Mar com leitura realizada a cada 15 minutos (Fig. 6).

Para as estações hidrográficas PCDs localizadas no IMA e em Coqueiro Seco, e na régua maregráfica de 3 metros instalada na Marina Lago Mar, foram instalados 2 RN's em cada estação de medição maregráfica para a sondagem batimétrica da lagoa de Mundaú.

As cotas altimétricas foram transportadas das RN's do IBGE e da DHN (RN-DHN-13) localizados no Porto de Maceió (Fig. 7), para os marcos geodésicos instalados pela CPRM (Figs 8, 9 e 10) na Marina Lago Mar (RN-CPRM-01 e RN-CPRM-02), IMA (RN-CPRM-03 e RN-CPRM-04) e em Coqueiro Seco (RN-CPRM-05, RN-CPRM-06 e RN-CPRM-07).



Figura 6. Régua de maré de 3 metros instalada na Marina Lago Mar, no canal de acesso a lagoa de Mundaú.

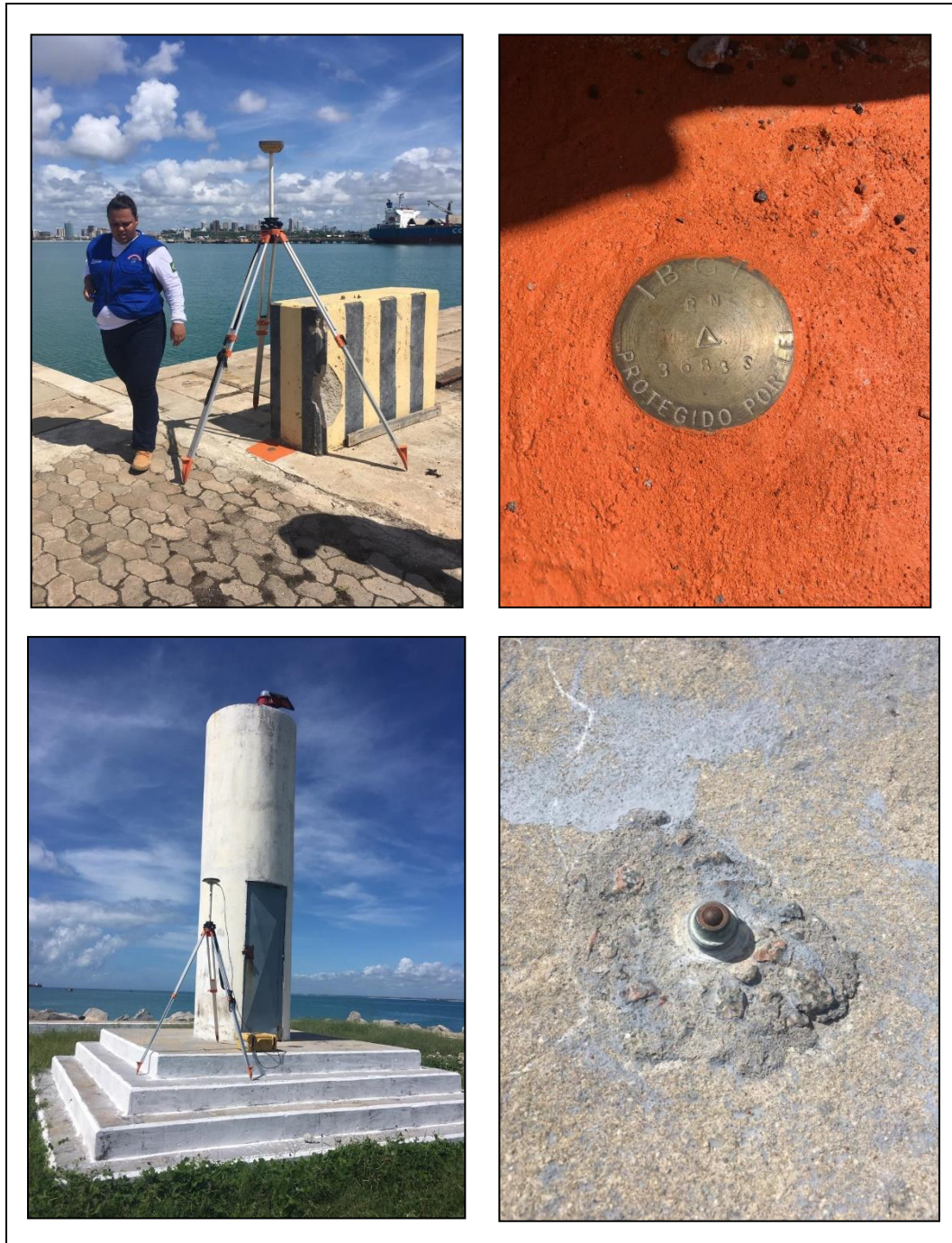


Figura 7. Referência de nível do IBGE e da DHN (RN-DHN-13), localizados no Porto de Maceió, os quais foram transportados por rastreamento com GPS geodésico para os marcos instalados pela CPRM nas PCDs do IMA e de Coqueiro Seco, assim como na régua maregráfica instalada no canal de acesso a lagoa de Mundaú.

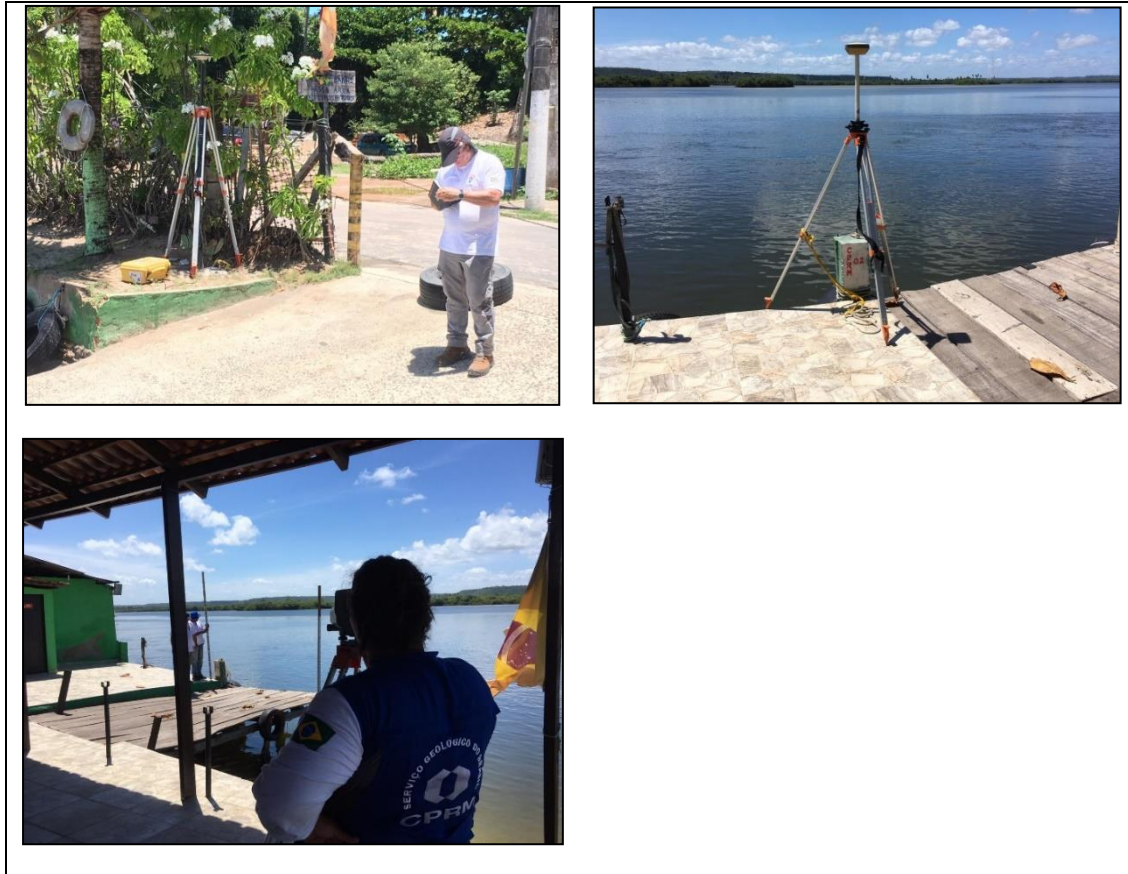


Figura 8. Estação maregráfica da Marina Lagoa Mar, localizada no canal de acesso a lagoa de Mundaú, sendo os RNs (RN-CPRM-01 e RN-CPRM-02) rastreados por GPS geodésico e o nivelamento da régua maregráfica de 3m.



Figura 9. Estação PCD localizada no IMA sendo os RNs (RN-CPRM-03 e RN-CPRM-04) rastreados por GPS geodésico e o nivelamento do sensor do radar da PCD.



Figura 10. Estação PCD localizada em Coqueiro Seco sendo os RNs (RN-CPRM-05, RN-CPRM-06 e RN-CPRM-07) rastreados por GPS geodésico e o nivelamento do sensor do radar da PCD.

Aquisição dos Dados Hidroacústicos Batimétricos

O levantamento batimétrico na região da lagoa de Mundaú foi realizado utilizando-se como meio flutuante uma embarcação com 5 metros de comprimento (Fig. 10). Esta embarcação foi excelente para o levantamento batimétrico visto que a mesma possui apenas 30 cm de calado, permitindo a sondagem em áreas bastante rasas.

Os equipamentos utilizados no levantamento batimétrico foram: i) ecobatímetro da Odom Hydrographic modelo Echotrac CV100 operando na frequência de 200 kHz, com resolução do feixe vertical de 0.01m; ii) Sistema de Posicionamento DGPS da HEMISPHERE modelo A101TM SMART ANTENNA com receptor Beacon - Rádio Farol, OmniSTAR XP/HP e Banda L1/L2; iii) Sistema de Posicionamento DGPS da TRIMBLE modelo DSM-232 com receptor Beacon - Rádio Farol, OmniSTAR XP/HP e Banda L1/L2; iv) Notebook DELL modelo Precision com o software Hypack / Hysweep e v) um monitor LCD 17" widescreen da DELL como repetidora de sinal (Fig. 11).

A calibração da ecossonda de feixe vertical foi realizada a cada início de operação, levando em consideração a velocidade do som de 1526.18 m/s para a região com base nos dados de temperatura e salinidade medidos com os CTD's (Conductivity-Temperature-Depth) modelo 3231 da AANDERAA e modelo 108 MkIII da VALEPORT, permitindo uma precisão de cinco centésimos de grau Celsius (0.05°C), de condutividade (0.075 mS/cm) e de salinidade (0.04 psu).



Figura 11. Embarcação utilizada no levantamento batimétrico da lagoa de Mundaú.

Os dados adquiridos tanto pelo ecobatímetro quanto pelo DGPS foram armazenados, monitorados e sincronizados no notebook através do *software* HYPACK SURVEY 2012. Entre outros recursos, está a possibilidade de visualizar no monitor do computador, em tempo real, o deslocamento da embarcação sobre a linha pré-definida, possibilitando assim o gerenciamento do percurso e garantindo melhor qualidade ao levantamento (Fig. 12).

Com relação à navegação para aquisição dos perfis batimétricos na lagoa Mundaú, a mesma foi realizada em tempo real através do *software* HYPACK 2012, que recebe dados de coordenadas através de interface NMEA 0183 a partir do DGPS (*Global Differential Positioning System*) da TRIMBLE modelo DSM-232 com receptor Beacon - Rádio Farol e Banda L1/L2. A correção dos dados de coordenadas foi efetuada com dados OmniSTAR XP/HP, proporcionando uma precisão de 3cm no levantamento batimétrico.



Figura 12. Equipamentos instalados e em operação a bordo da embarcação

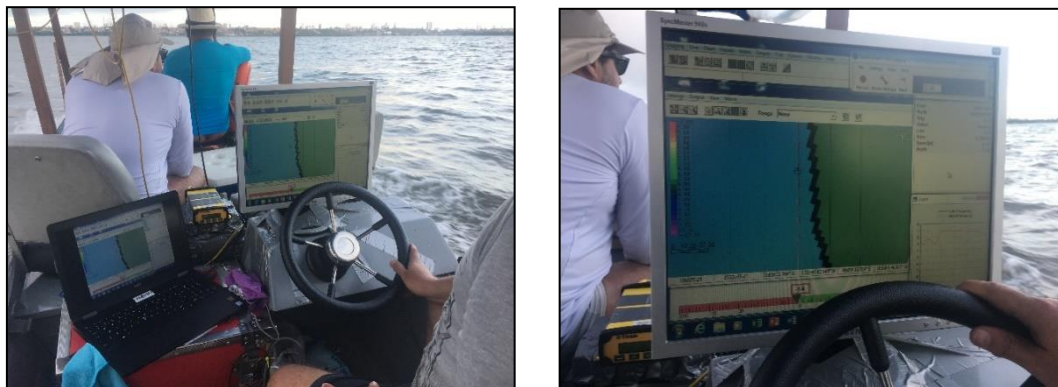


Figura 13. Sistema de posicionamento em tempo real utilizando o *software* HYPACK 2012.

Como fonte de energia, foi utilizado um gerador de 2.800W de potência, o qual forneceu energia para os computadores e monitores com voltagem de 110V, e ao mesmo tempo carregava as baterias de 12V para o funcionamento dos equipamentos.

Os dados batimétricos foram adquiridos no formato analógico e digital através do *software* HYPACK 2012. Os arquivos digitais foram gravados na extensão (*.raw) e (*.xyz), no seguinte formato: GGA (dados de coordenadas a cada 1 segundo), VTG (dados de velocidade e rumo

a cada 1 segundo) e DBS (dados de profundidade a cada 1 décimo segundo). Estes dados foram coletados a uma frequência de 10 Hz, ou seja, a cada 1 segundo foram coletadas 10 medidas de profundidade, permitindo assim o registro contínuo dos dados batimétricos. Os dados de coordenadas (GGA) foram coletados com as projeções UTM e geográfica, ambas com o datum WGS84.

PROCESSAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS

Inicialmente, em gabinete, todas as profundidades foram reduzidas a um datum constante onde o zero relativo aproxima-se do zero absoluto estabelecido para o nível de águas médias mais baixas da maré de sizígia, em seguida os dados de profundidade foram analisados e filtrados para corrigir eventuais erros.

No processamento e pós-processamento dos dados foram utilizados os softwares HYPACK 2012 e AutoCad 2011, respectivamente. No processamento os dados foram editados para que os problemas ocorridos durante a aquisição fossem corrigidos, ou seja, retirada dos “spikes” (Fig. 14). Durante este processo também se efetivou a correção do nível da maré, ou seja, os dados levantados foram reduzidos para uma mesma situação de maré, tendo como base os dados obtidos através da estação maregráfica da PCD de Coqueiro Seco. Após todos estes procedimentos, os dados foram sorteados com espaçamento de raio 05 e exportados no formato *.DXF e *.XYZ para que se realizasse o pós-processamento.

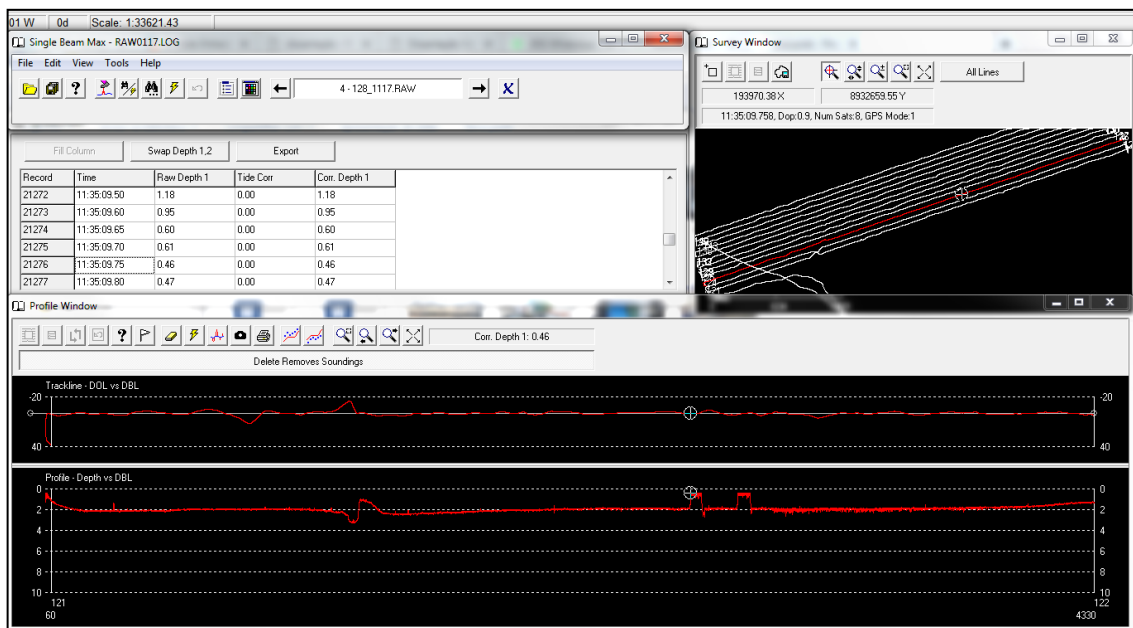


Figura 14. Edição dos perfis batimétricos no software Hypack 2012 e retirada dos spikes.

O pós-processamento se deu no ambiente dos softwares acima mencionados e se inicia com a importação dos dados, que consiste de uma planilha onde se tem os pontos amostrados com hora da aquisição, profundidade, latitude, longitude e observações referentes a determinados trechos do perfil. Inicialmente, estes dados foram plotados sobre a base

cartográfica, para que se possa verificar a confiabilidade desta base e utilizá-la na edição final dos dados.

A partir do tratamento geoestatístico e da correção maregráfica dos dados batimétricos, foi elaborada, com auxílio do *software* HYPACK HYPLOT 2012, uma carta batimétrica na escala de 1:5.000 da lagoa de Mundaú, além de mapas e blocos diagramas em 3D, com auxílio dos *softwares* Oasis Montaj e Surfer 14.

LAGOA MUNDAÚ

A lagoa Mundaú é o estuário do rio Mundaú (Fig. 15), cuja bacia hidrográfica está situada parte em Pernambuco, onde o rio nasce, e outra em Alagoas. Segundo COTEC (1999), a lagoa Mundaú está interligada com a lagoa Manguaba na região dos canais, existindo uma única comunicação com o mar. O Complexo Estuarino Lagunar Mundaú - Manguaba (CELMM) margeia vários núcleos urbanos dos municípios de Maceió, Marechal Deodoro, Pilar, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte, Satuba e Rio Largo.

Segundo Lima (1990), a lagoa Mundaú sofre influências das marés que, através dos inúmeros canais, facilitam a entrada e saída da água do mar, como também das cheias do rio Mundaú. A presença de água salgada, por sua vez, a torna salobra, propiciando a presença de mangues que a margeiam. Santos (1998) constatou que, em junho de 1984, a amplitude máxima da maré na estação Porto de Maceió foi de 2,04 metros e na lagoa Mundaú foi de 0,31 metros.

Segundo Santos (1998 op. cit), a salinidade da lagoa Mundaú na estação seca alcança valores de 36,2 psu, próximo à região de comunicação com o mar e 8,8 psu no delta do rio Mundaú, enquanto na estação chuvosa foram observados valores da ordem de 33,5 psu na região de comunicação com o mar e 0,1 psu no delta do rio.

Segundo COTEC (1999), o rio Mundaú sofre a influência dos esgotos lançados às suas margens em Satuba, Santa Luzia do Norte, Coqueiro Seco e região metropolitana de Maceió.

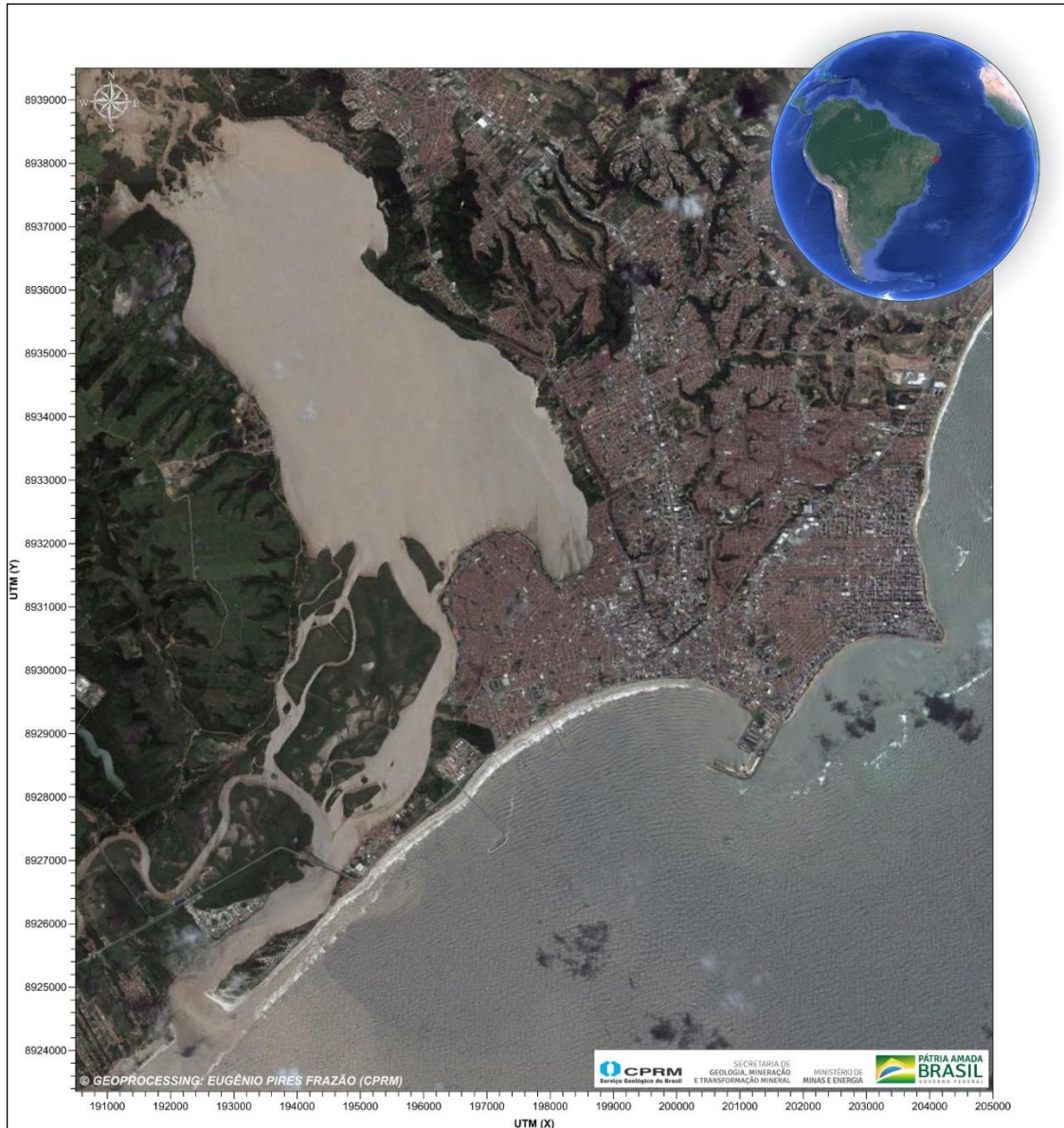


Figura 15. Localização da Lagoa de Mundaú em relação a região metropolitana de Maceió.

ANÁLISE DOS DADOS BATIMÉTRICOS

Ao longo da lagoa de Mundaú e no seu canal de acesso foram percorridos 317 km de levantamento batimétrico (Fig. 16), com perfis equidistantes a cada 50 metros.

O processamento e a análise dos dados batimétricos, obtidos na região da lagoa de Mundaú, teve como resultado a elaboração de uma carta batimétrica no padrão DHN, apresentando profundidades em metros, na escala de 1:5000, além de mapas batimétricos combinados com a altimetria e em blocos diagramas em 3D.

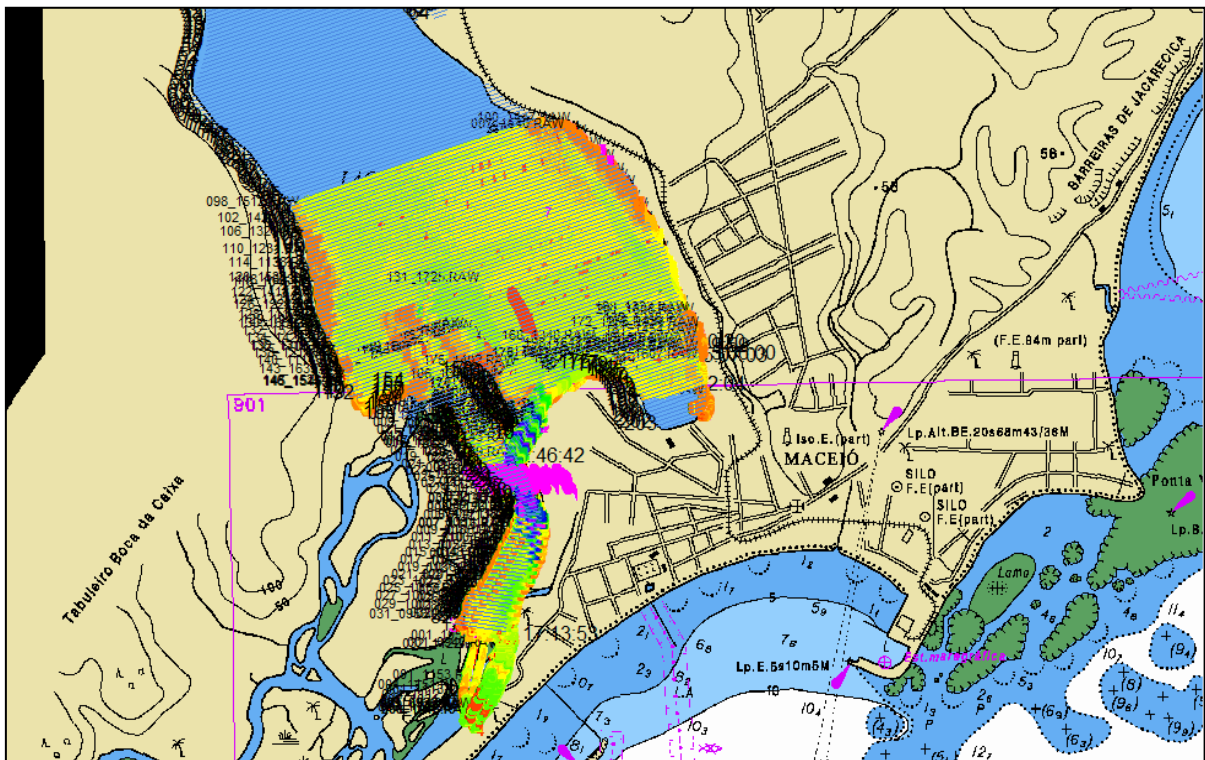


Figura 16. Carta Batimétrica nº. 920 da DHN/CHM, mostrando a distribuição dos perfis batimétricos.

A figura 17 mostra o mapa batimétrico interpolado da lagoa de Mundaú combinado com os dados altimétricos do entorno da lagoa de Mundaú, no qual se observa profundidades variando em torno de 0,17 a 10,67 metros. O assoreamento na lagoa de Mundaú é provocado provavelmente por sedimentos provenientes do rio Mundaú e do Riacho do Silva, os quais transportam grandes quantidades de sedimento para dentro da lagoa de Mundaú, durante as ocorrências de chuvas moderadas a fortes, na região.

No último dia 27/01/2019 ocorreu uma precipitação de 19 mm em Maceió (AL), a qual foi suficiente para provocar o transporte de sedimento proveniente do Riacho do Silva em direção

à lagoa de Mundaú, formando uma pluma de dispersão de sedimento bem extensa, conforme podemos observar na figura 18.

A figura 19 mostra o mapa em detalhe da batimetria da lagoa de Mundaú, na qual podemos observar a formação de uma grande acumulação de sedimento adjacente a foz do Riacho do Silva, com cota batimétrica variando de 0 a 1,5 metros de profundidade, além da região de canais e meandros da Laguna de Mundaú, onde ocorrem grandes machas de manguezal associado, assim como a formação de bancos de areia alongados controlados pela influência do fluxo de maré. Nesta mesma figura podemos observar que o leito da lagoa de Mundaú possui várias pequenas depressões provocadas pela extração do sururu, molusco comum no nordeste brasileiro e fonte de renda de muitos pescadores que moram ao redor da lagoa de Mundaú.

Nas figuras 17 e 19 observa-se na porção sudeste da lagoa de Mundaú um acúmulo de sedimento proveniente da bacia hidrográfica do Riacho do Reginaldo, intensificado durante os períodos chuvosos.

A figura 20 é um bloco diagrama da combinação de dados batimétricos com a altimetria satelital, possibilitando a visualização e a interpretação em 3D das principais feições de fundo. As interpretações a seguir, foram obtidas a partir desses produtos, conjuntamente com dados observados em campo.

As zonas de maiores profundidades se encontram ao longo do canal de acesso a lagoa de Mundaú, com profundidades chegando até 10,67 metros, enquanto na região próximo as ilhas, ocorrem os maiores altos fundos, provavelmente capeados por sedimentos ricos em material fino.

Ao longo da área sondada, o comportamento morfológico se modifica caracterizando zonas distintas. A profundidade, largura e a forma dos canais mostram diferentes níveis de atuação dos mecanismos dinâmicos do ambiente.

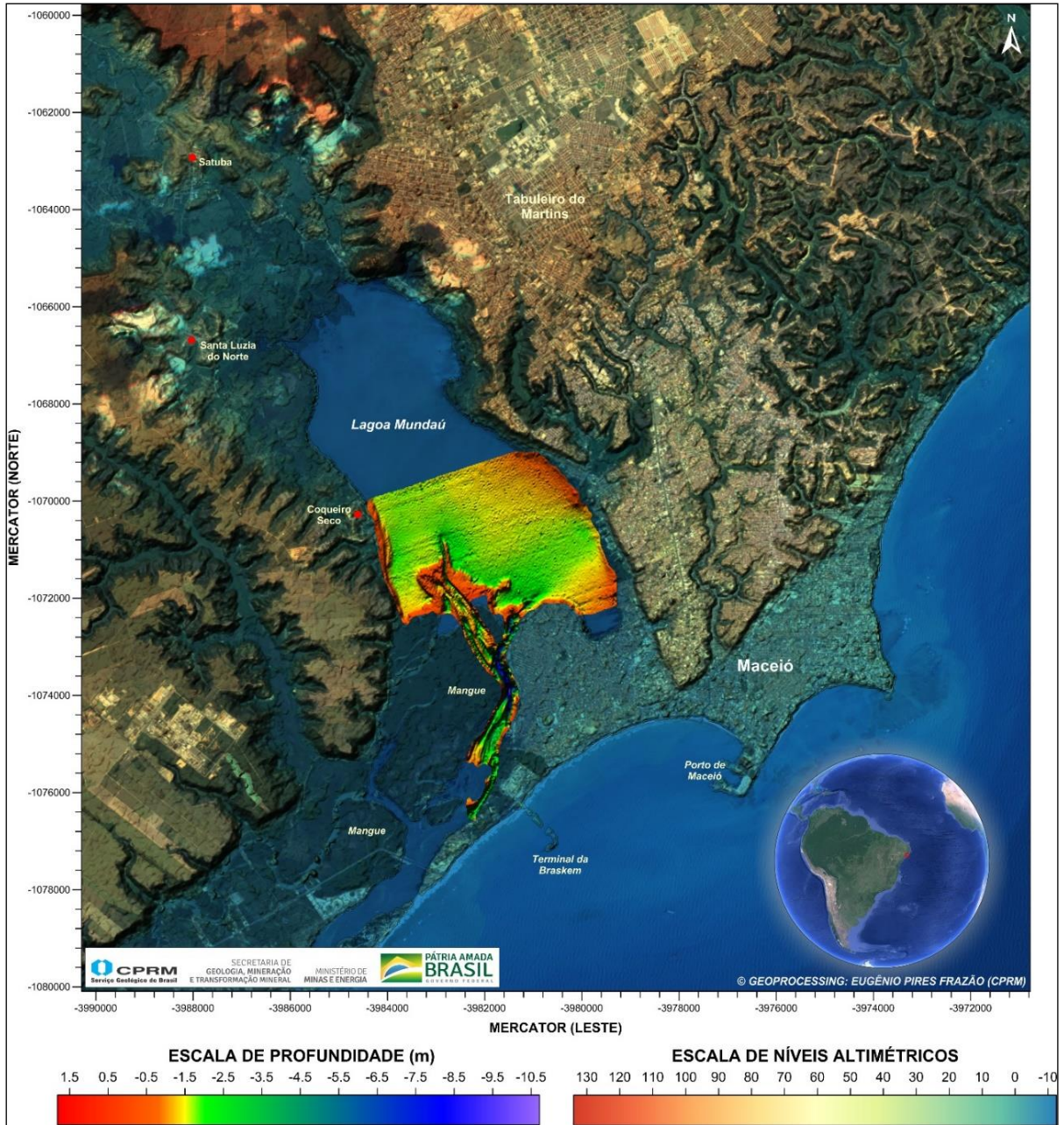


Figura 17. Mapa regional correlacionando a batimetria com a topografia do entorno da lagoa de Mundaú.



Figura 18. Fotografia aérea oblíqua mostrando o transporte de sedimento proveniente do Riacho do Silva em direção a lagoa de Mundaú, após uma chuva de 19 mm de precipitação no dia 27/01/2019.

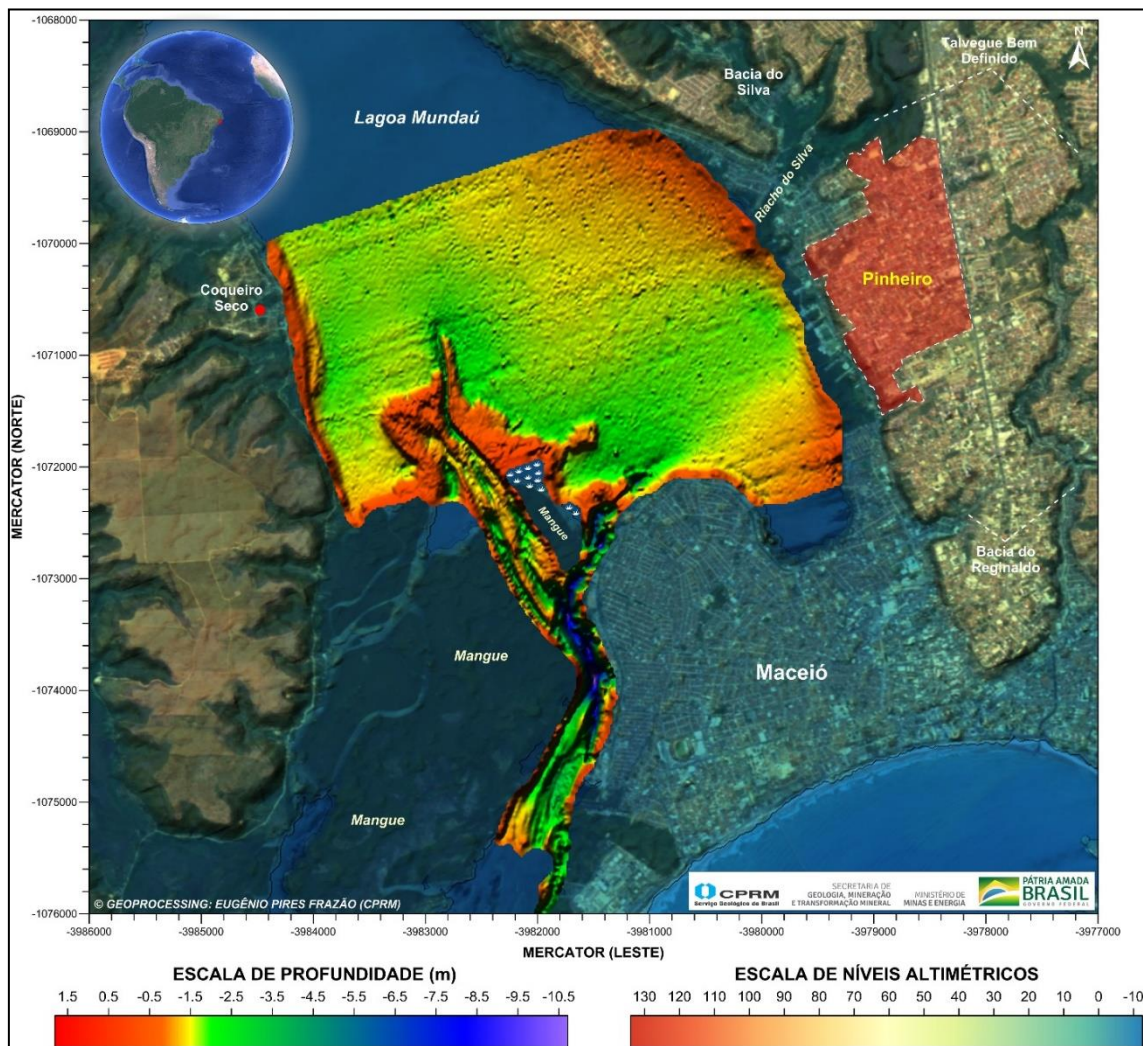


Figura 19. Mapa batimétrico de detalhe, mostrando o acúmulo de sedimento na saída do Riacho do Silva e bancos de areia alongados controlados pelo fluxo de maré ao longo do canal de acesso a lagoa de Mundaú.

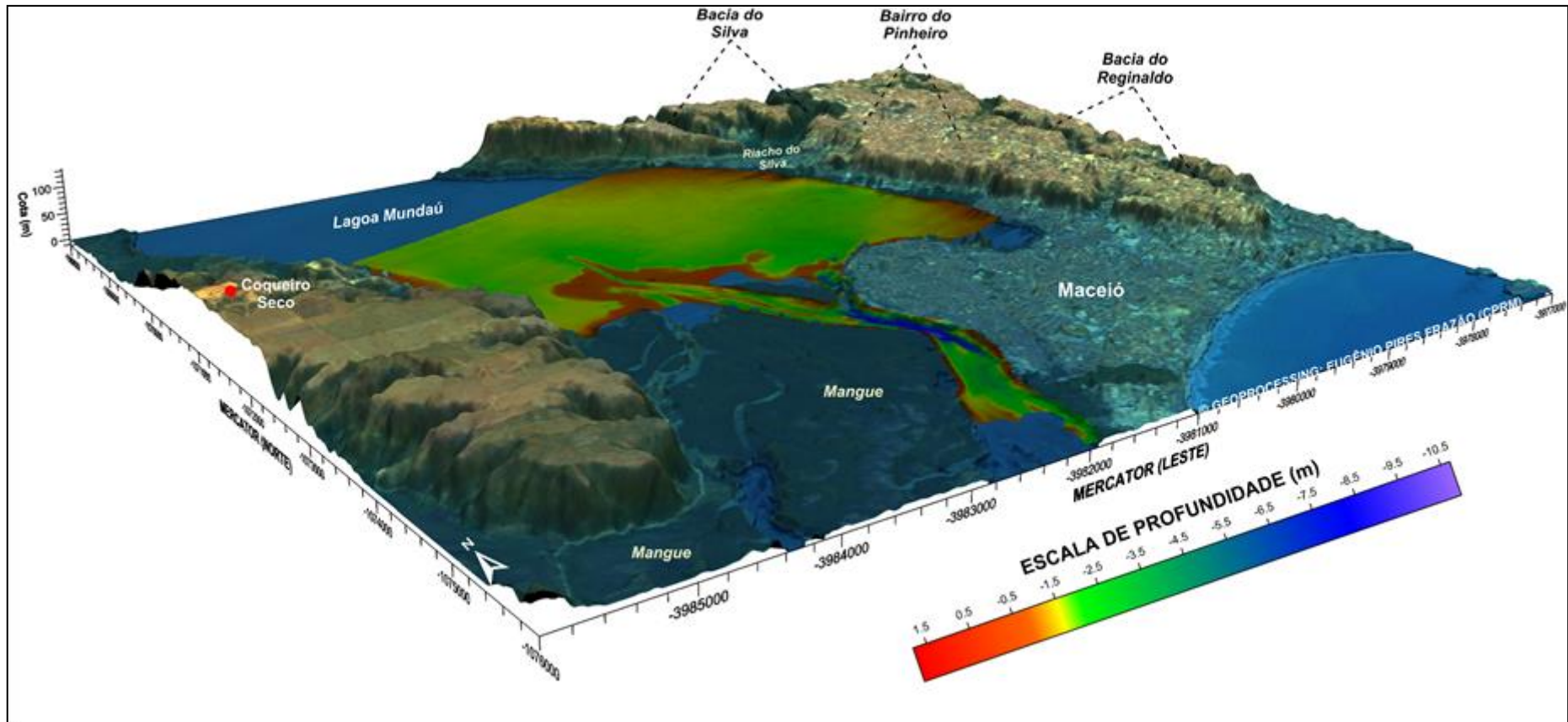


Figura 20. Bloco diagrama em 3D mostrando a batimetria da lagoa de Mundaú em relação à topografia.

RECOMENDAÇÕES

Um sistema estuarino consiste, essencialmente, em uma interface complexa de corpos de água distintos, onde ocorre a transição entre um sistema eminentemente fluvial e um sistema puramente marinho. Dessa forma, está sujeito a processos característicos daqueles ambientes, decorrentes das interações entre suas componentes fluviais ou oceânicas, bem como de sua morfologia semi-fechada (Ward e Espey 1971).

A lagoa Mundaú, com área em torno de 27,0 Km², é alimentada principalmente pelo rio Mundaú, com vazões médias da ordem de 8,0 m³/s na época seca e 50 m³/s na época chuvosa. As frequentes enchentes no rio Mundaú, que atingem a porção norte da lagoa, juntamente com as variações de maré, exercem grande influência no sistema hídrico lagunar.

Em função do curto período para a execução do levantamento batimétrico na lagoa de Mundaú, no período de 06 a 24 de janeiro de 2019, com perfis equidistantes a cada 50 metros, sugere-se a complementação do levantamento batimétrico da porção norte da lagoa de Mundaú numa área de aproximadamente 11.864.159,26 m², a qual equivale a 2.954 campos oficiais de futebol medindo (90x45 metros), com objetivo de entender a morfologia da lagoa e seu sistema deposicional, assim como calcular o volume do espelho de água e de sedimento depositado provenientes das bacias hidrográficas do Riacho do Silva, Reginaldo e do rio Mundaú (Fig. 21).

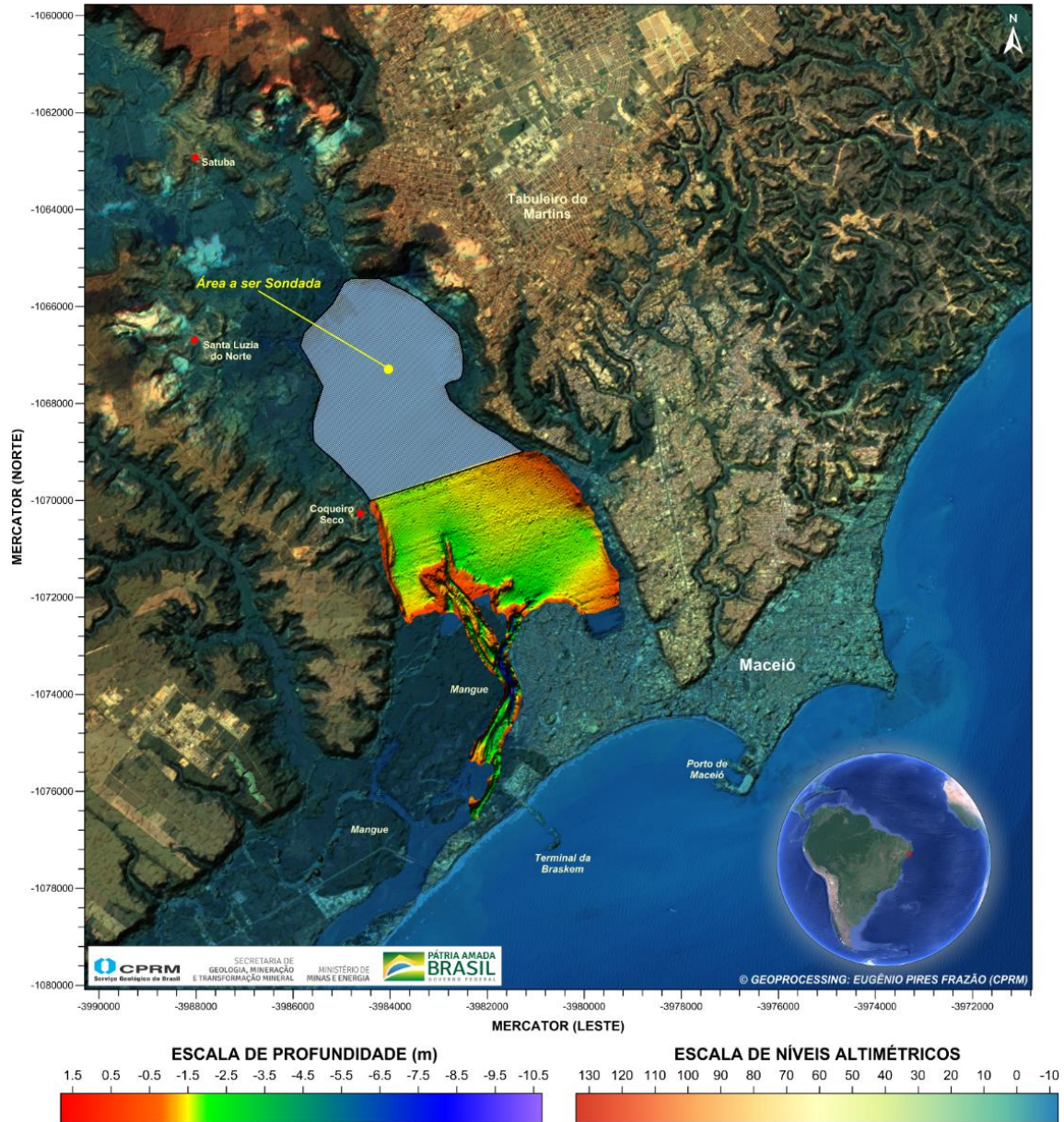


Figura 21. Área a ser sondada na porção norte da lagoa de Mundaú. Além da Complementação do levantamento batimétrico da lagoa de Mundaú, aconselha-se o levantamento com Sonar de Varredura Lateral (SVL) e a perfilagem sísmica com *Sub-Bottom Profile* (SBP) em áreas específicas na lagoa.

SONAR DE VARREDURA LATERAL (SVL)

A finalidade da utilização do SVL (Fig. 22) é para imagear todo o fundo da Lagoa de Mundaú e localizar afloramentos rochosos que possam corroborar com os dados de sísmica e auxiliar na elaboração do mapa faciológico e textural da lagoa de Mundaú.

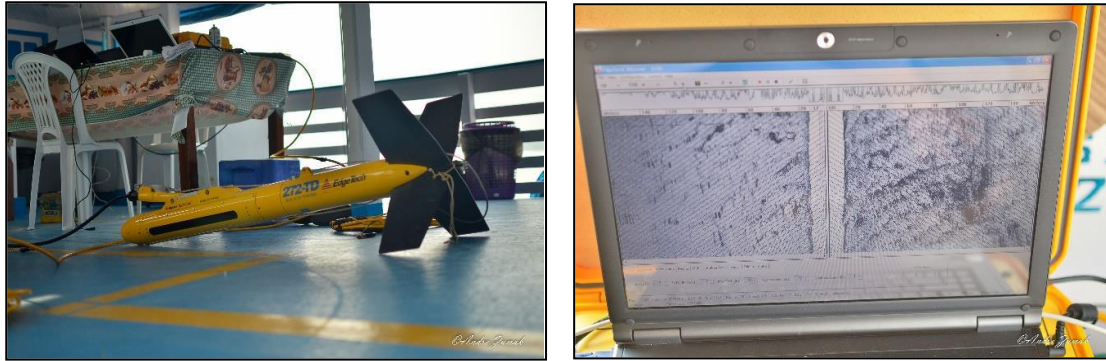


Figura 22. Equipamento a ser utilizado para aquisição dos dados sonográficos.

LEVANTAMENTO SÍSMICO COM SUB-BOTTOM PROFILE E MONOCANAL COM BOOMER E/OU SPARKER

Com a utilização desses três equipamentos (Fig. 23) é possível chegar a uma investigação sísmica de até 200m de profundidade dentro da Lagoa de Mundaú, com a finalidade de determinar a espessura do pacote sedimentar e assim mapear os sistemas de fraturas no sedimento.

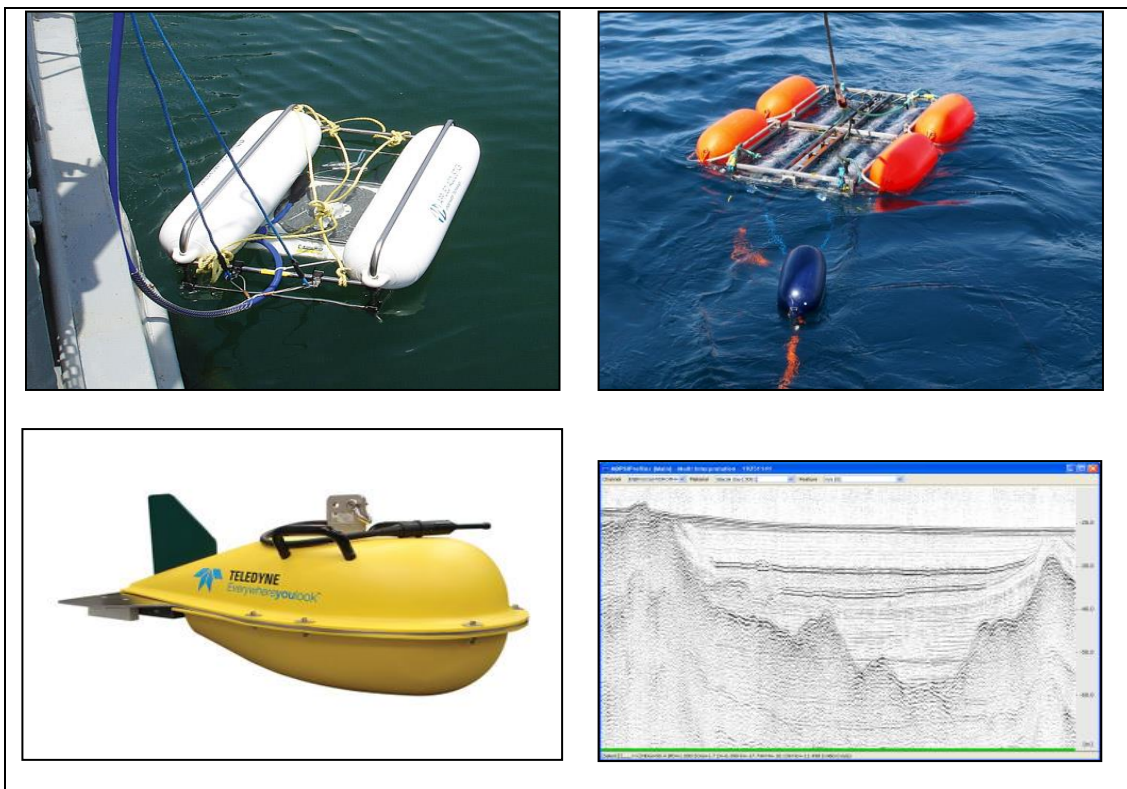


Figura 23. Equipamentos a serem utilizados para aquisição dos dados sísmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.J., 1989. Predicting reservoir quality in the cretaceous Maceió Member of the Sergipe-Alagoas Basin, Northeast Brazil. Cincinnati, University of Cincinnati. M.Sc thesis.
- COTEC, 1999 – Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú. Consultoria Técnica LTDA. Tomo I – Diagnósticos e Estudos Básicos, Vol. 1, Recife. 110p.
- DESTRO N. 1995. Release fault: A variety of cross fault in linked extensional fault systems, in the Sergipe-Alagoas Basin, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*, 17(5): 615-629.
- ELIS V. R., BARROSO C. M. R., KIANG C. H., 2004. - Aplicação de ensaios de resistividade na caracterização do Sistema Aquífero Barreiras / Marituba em Maceió – AL, *Rev. Bras. Geof.* vol.22 no.2 São Paulo May/Aug. 2004.
- LIMA, I F., 1990. Maceió a cidade restinga: contribuição ao estudo geomorfológico do litoral alagoano. Maceió: EDUFAL. 255p.
- SANTOS, R.C. de A.L. - Estudo sedimentológico e geoambiental no sistema lagunar Mundaú – Alagoas. Recife, 1998. 127p. Mestrado em Geociências – Universidade Federal de Pernambuco.
- VIEIRA MB. 1998. Vetorização e Análise de Tendência de Cartas de Lineamentos Geológicos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 97 p.
- WARD, G. e ESPEY, W. Estuarine Modeling: an Assessment. Report 16070 DZV 02/71, Environmental Protection Agency, Washington. D.C., 1971.