

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA – CTEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
HÍDRICOS E SANEAMENTO – PPGRHS**



Luiz Henrique da Silva

**ESTIMATIVA DA TAXA DE ASSOREAMENTO BASEADA EM PERFIS
TRANSVERSAIS EM UM SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR MUNDAÚ:
INTEGRAÇÃO ECOBATÍMETRO E RTK**

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragoso Junior

**Maceió
2019**

LUIZ HENRIQUE DA SILVA

**ESTIMATIVA DA TAXA DE ASSOREAMENTO BASEADA EM PERFIS
TRANSVERSAIS EM UM SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR MUNDAÚ:
INTEGRAÇÃO ECOBATÍMETRO E RTK**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Mestrado, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragoso Junior

**Maceió
2019**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário: Marcelino de Carvalho

S586e

Silva, Luiz Henrique da.

Estimativa da taxa de assoreamento baseada em perfis transversais em um sistema estuarino Lagunar Mundaú : integração ecobatímetro e RTK. – 2019. 93 f. : il. color.

Orientador: Carlos Ruberto Fragoso Júnior.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 83-88.

Apêndices: f. 89-93.

1. Ecobatímetro. 2. Sedimentos lacustres. 3. Mundaú, Lagoa (AL). 4. 4. *Real Time Kinematic* (RTK). I. Título.

CDU: 626.86



Folha de Aprovação

LUIZ HENRIQUE DA SILVA

ESTIMATIVA DA TAXA DE ASSOREAMENTO BASEADA EM PERFIS
TRANSVERSAIS EM UM SISTEMA ESTUARINO LAGUNAR MUNDAÚ:
INTEGRAÇÃO ECOBATÍMETRO E RTK

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Em: 05/04/2019

Prof. Dr. Carlos Roberto Fragoso Júnior
(Orientador - PPGRHS/CTEC/UFAL)

Banca examinadora:

Prof. Dr. Fabio Farias Pereira
(Examinador Interno – PPGRHS/CTEC/UFAL)

Prof^ª. Dr^ª. Rochana Campos de Andrade Lima Santos
(Examinadora externa – CTEC/UFAL)

A minha mãe, **Zilda da Conceição Silva** (*In memoriam*):

Não há ciência secular capaz de mensurar a distância física que nos separa, no entanto, a conexão de nossos corações me permite tê-la pra sempre comigo. Mesmo nos momentos mais felizes sinto a tristeza da sua ausência, não é por me sentir sozinho, pois mesmo em meio a multidões me sinto só (sem chão), por não ter você aqui comigo. Te amo para sempre mãe!

“Jó disse: Nu saí do ventre de minha mãe, nu voltarei. O Senhor deu, o Senhor tirou: bendito seja o nome do Senhor!” (Jó 1:21)

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido saúde e força para superar as dificuldades;

A toda minha família, em especial, a minha mãe Zilda da Conceição Silva (*In memoriam*) e ao meu filho Gabriel Henrique Vanderlei Lima Silva, que foram minha inspiração, incentivo e apoio incondicionais;

Ao Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragoso Junior, por ter aceito a orientação deste trabalho, pelo apoio em disponibilidade, aconselhamentos;

Ao Prof. Dr. Roberaldo Carvalho de Souza, apresento o meu agradecimento especial pelo apoio, dedicação, comprometimento e o incentivo que sempre dedicou aos seus alunos e pela rica oportunidade em permitir fazer parte do PAESPE (2004-2005), ambiente que muito contribuiu com a pesquisa de pós-graduação que resultou nesta dissertação;

Ao amigo Ricardo Luis Barreto de Sales Reis, pelo suporte (paciência) dado a esse trabalho, bem como, por todos os incentivos;

A todos que fazem parte do grupo do programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGHRS/UFAL), em especial, aos professores/as Karina Ribeiro Salomon, Fábio Farias Pereira, Cleuda Custódio Freire, Vladimir Caramori, Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves e Valmir Albuquerque Pedrosa, pelos ensinamentos e por possibilitarem a realização das campanhas de campo necessárias;

A Profa. Dra. Rochana Campos de Andrade Lima Santos, não apenas pela ajuda que recebi como discente onde recebi orientações científicas, motivações, em especial, agradeço ao que pude aprender sobre o lado humano e cristão, sobre ser profissional e ser generoso;

Aos amigos Aldy dos Santos e Maria Helena Moraes dos Santos pelo companheirismo e incentivo desde a infância, amigos-irmãos a quem tenho como pai e mãe;

Ao meu melhor amigo Daniel Moraes dos Santos, amigo que sempre pude contar, ainda na época do ensino fundamental (Colégio da Paz) até o PAESPE (2004) e sempre me dando forças para prosseguir com os estudos;

A minha namorada Alaynne Dálettes Santos Feitosa, por todo apoio, incentivo, compreensão que me dedicou nos momentos cruciais;

As instituições colaboradoras no desenvolvimento desta pesquisa são: Universidade Federal de Alagoas (UFAL); Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (IMA); Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);

Consultoria, Estudos e Projetos Ltda. (COHIDRO); Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH).

Quanto ao apoio técnico e à infraestrutura disponíveis que viabilizam esta pesquisa, indicamos a equipe técnica (professores e técnicos) do PPGRHS/UFAL, no suporte e a infraestrutura das atividades de campo. Além disso, indicamos, também, o apoio técnico fornecido pelo IMA e pelo IPH/UFRGS, bem como a colaboração da equipe técnica da COHIDRO e da SEMARH, fornecendo equipamentos e profissionais para integração dos sistemas (ecobatímetro e RTK).

A esta universidade que oportunizou a janela em que vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes;

E a todos que oraram por mim ou que direta/indiretamente fizeram parte da minha formação, aqui expresso o meu muito obrigado.

RESUMO

Torna-se de grande relevância compreender como se dá o aporte da complexa dinâmica sedimentar em regiões litorâneas nos períodos de grandes pressões para as expansões do transporte (modal) aquaviário no Brasil. Estima-se que mais de 80% do comércio internacional é transportado por vias aquáticas e no Brasil não é diferente. Apesar da rara abordagem, o conhecimento acerca dos relevos submersos, a taxa de sedimentação em sistemas estuarinos, no campo observacional ou da validação de métodos empíricos por métodos teóricos que podem fornecer um bom diagnóstico. Este estudo é baseado em atividades de campo em um Sistema Estuarino Lagunar, no nordeste do Brasil. A produção de sedimentos provenientes das áreas de drenagem da bacia do rio mundaú, foram avaliados usando técnicas empíricas e comparadas com as quantificações usando sondagens (SONAR) topobatimétricas, mostrando uma produção de 1287 – 1461 quilos por ano e uma camada de deposição de 9,7 cm (2012) e 14 cm (2018). A razão entre os transectos topobatimétricos medidos em 2012 e 2018, resultou em uma produção sedimentos de 1821 quilos por ano e uma camada de deposição de 8 cm. A morfologia da região costeira do leito e entorno do sistema estuarino está sendo constantemente alterada, principalmente, na margem esquerda pelo avanço da degradação que advém do aporte sedimentar, interação entre as variações das forçantes hidrodinâmicas, bem como da possibilidade de processos geológicos que estão associados com as movimentações de terras nos bairros da cidade de Maceió, possam ter correlação com as mudanças recentes de batimetria na laguna Mundaú. Apesar da segurança que a cartografia traz à navegação, desenvolver levantamentos hidrográficos (LH) sempre foi um desafio, devido ao tipo de mão de obra muito especializada, conseqüentemente, pela dificuldade de realização do serviço, do alto custo para execução, além disso, as constantes alterações na dinâmica sedimentar e as condições climáticas que poderiam interferir nessa execução. Com o avanço das ciências e da tecnologia, novos equipamentos e métodos foram sendo desenvolvidos, possibilitando melhorar a precisão para esses posicionamentos. O presente trabalho mostra a utilização do GPS, a sua conexão com o sistema ecobatimétrico ou sonar e os cuidados a serem adotados. Neste trabalho, a metodologia adotada abrange todas as etapas para realização de um levantamento topobatimétrico com sonar de varredura, totalmente automatizado: coleta de dados, aplicando a técnica RTK (Real Time Kinematic), o processamento, a análise e a geração dos dados do Modelo Digital de Profundidade (MDP) do leito do estuário. Como resultados principais, foram observadas as mudanças morfológicas progressivas ao longo do canal, nos anos de 2012 e 2018.

Palavras-chave: Estimativa da taxa de assoreamento. Estuarino Lagunar Mundaú. Integração ecobatímetro e RTK.

ABSTRACT

It is of great relevance to understand how the contribution of the complex sedimentary dynamics in coastal regions in the periods of great pressures for the (modal) waterway transport expansions in Brazil. It is estimated that more than 80% of international trade is transported by waterways and in Brazil it is no different. Despite the rare approach, knowledge about submerged relief, sedimentation rate in estuarine systems, observational field or the validation of empirical methods by theoretical methods that can provide a good diagnosis. This study is based on field activities in a Lagunar Estuarine System in northeastern Brazil. The production of sediments from the drainage areas of the mundaú river basin were evaluated using empirical techniques and compared to the quantifications using topobatic surveys (SONAR), showing a production of 1287 - 1461 kilos per year and a deposition layer of 9, 7 cm (2012) and 14 cm (2018). The ratio between topobatic transects measured in 2012 and 2018 resulted in a sediment yield of 1821 kg per year and a deposition layer of 8 cm. The morphology of the coastal region of the bed and surrounding area of the estuarine system is constantly being altered, mainly in the left margin by the advance of the degradation that comes from the sedimentary contribution, interaction between the hydrodynamic forcing variations, as well as the possibility of associated geological processes with land movements in the districts of the city of Maceió, may be correlated with recent changes in bathymetry in the Mundaú lagoon. Despite the safety that cartography brings to navigation, developing hydrographic surveys (LH) has always been a challenge, due to the very specialized type of workforce, consequently, due to the difficulty in performing the service, the high cost of execution, and constant changes in the sedimentary dynamics and the climatic conditions that could interfere in this execution. With the advancement of science and technology, new equipment and methods have been developed, making it possible to improve the accuracy of these positions. The present work shows the use of GPS, its connection with the bathymetric or sonar system and the care to be taken. In this work, the methodology adopted covers all the steps for the realization of a bathymetric survey with scanning sonar, totally automated: data collection, applying the technique RTK (Real Time Kinematic), processing, analysis and generation of data of the Model (MDP) of the estuary bed. As main results, progressive morphological changes were observed along the canal, in the years of 2012 and 2018.

Keywords: Estimation siltation rate. The Mundaú lagoonal estuarine. Bathymeter and RTK integration.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Representação esquemática das regiões de um estuário hipotético com a Zona de Maré, Zona de Mistura e Zona Costeira | 16 |
| Figura 2 – A dinâmica costeira condiciona diretamente a morfologia..... | 17 |
| Figura 3 – Representação dos fatores que influenciam o comportamento geomorfológico de um leito fluvial..... | 19 |
| Figura 4 – Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Mundaú..... | 25 |
| Figura 5 – Esquema geral de funcionamento da batimetria em tempo real através de sistema de posicionamento GPS diferencial | 27 |
| Figura 6 – Mapa de Localização da Laguna Mundaú | 33 |
| Figura 7 – Mapa de identificação do Alto, Baixo e Médio Mundaú..... | 35 |
| Figura 8 – Precipitação média mensal dos municípios do Baixo Mundaú (AL), no período de 1955-1991..... | 36 |
| Figura 9 – Média histórica da precipitação no Baixo Mundaú..... | 36 |
| Figura 10 – Pluviometria mensal média da Estação 82994 de Maceió..... | 37 |
| Figura 11 – Distribuição dos sedimentos ao longo do curso d’água..... | 38 |
| Figura 12 – Velocidade do Vento..... | 39 |
| Figura 13 – Fenômeno das marés | 40 |
| Figura 14 – Representação gráfica dos dados históricos de vazão e concentração de sedimentos em suspensão (Est. Boa Fortuna) | 42 |
| Figura 15 – Representação gráfica dos dados históricos de vazão e concentração de sedimentos em suspensão (Est. Boa Fortuna) | 42 |
| Figura 16 – Embarcação e equipamentos utilizados no levantamento batimétrico..... | 46 |
| Figura 17 – Princípios básicos do ecobatímetro (modificado por Miguens, 2005)..... | 47 |
| Figura 18 – Perfil do marco piramidal padrão IBGE – 2008 | 50 |
| Figura 19 – Forma com os padrões utilizados para o marco piramidal – 2008..... | 51 |
| Figura 20 – Calibração do Sonar | 52 |
| Figura 21 – Ilustração dos cones de frequência e os graus de cobertura do Sonar 1199ci HD SI | 53 |
| Figura 22 e 23 – Confecção do marco piramidal padrão IBGE – 2018 | 56 |
| Figura 24 – Perfil do marco piramidal padrão IBGE – 2018 | 56 |
| Figuras 25 e 26 – Local para materialização da estação-base através do marco topográfico – 2018..... | 57 |
| Figura 27 – Assentamento do marco no local para materialização da estação-base – 2018 | 57 |
| Figura 28 – Preenchimento do restante da cava com a massa da fundação | 58 |
| Figura 29 – Seções transversais..... | 61 |
| Figura 30 – Margem direita, localização da seção principal e do marco topográfico – 2018.. | 62 |
| Figura 31 – Etapa de campo (seção 1): uso do ecobatímetro e do GPS RTK – 2018..... | 63 |
| Figura 32 – Etapa de campo (seção diagonal): uso do ecobatímetro e do GPS RTK – 2018.. | 63 |
| Figura 33 – Representação do Modelo de Elevação da Laguna Mundaú Batimetria 1985, 2012, ago-18, nov-18..... | 67 |
| Figura 34 – Sumário das análises hidromorfológicas da bacia do Rio Mundaú | 68 |
| Figura 35 – Perfil da seção transversal em 2012, ago-18 e nov-18..... | 70 |
| Figura 36 – Representação esquemática do perfil do canal do porto com 15 metros de profundidade com suas camadas de lama e o fundo de acordo com a classificação de Manning et al. (2010)..... | 74 |
| Figura 37 - Sismo-Maceió-sismograma. | 76 |

| | |
|--|----|
| Figura 38 - Resultado da análise interferométrica de imagens de radas no período de abril 2016 a dez 2018..... | 77 |
| Figura 39 – Batimetria da CPRM no sistema lagunar mundaú em 2019 | 77 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Áreas (km ²) de uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Mundaú | 26 |
| Tabela 2 – Coordenadas planimétricas 2437M, 2437N e CTEC | 56 |
| Tabela 3 – Erros cometidos no levantamento topográfico planialtimétrico | 57 |
| Tabela 4 – Produção de sedimentos pelos métodos I e II..... | 69 |
| Tabela 5 – Profundidade de sedimentação em 2012 | 69 |
| Tabela 6 – Profundidade de sedimentação em 2018 | 70 |
| Tabela 7 – Quantificação da produção de sedimentos | 67 |
| Tabela 8 – Tamanho de partícula em que ocorre o pico de sensibilidade para as frequências comuns de trabalho dos equipamentos de mono frequência convencionais. | 75 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| AM | Alto Mundaú |
| BM | Baixo Mundaú |
| CAV | Cota-Área-Volume |
| CELMM | Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba |
| CTEC | Centro de Tecnologia |
| COHIDRO | Consultoria, Estudos e Projetos Ltda. |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CPRM | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais |
| Dd | Densidade de drenagem |
| EF | Estação Fluviométrica |
| GNSS | <i>Global Navigation Satellite System</i> |
| IMA-AL | Instituto do Meio Ambiente de Alagoas |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| IPH | Instituto de Pesquisas Hidráulicas |
| Ke | Fator de erosão |
| MM | Médio Mundaú |
| MMQ | Método dos Mínimos Quadrados |
| MDP | Modelo Digital de Profundidade |
| MDT | Modelo Digital de Terreno |
| NaCl | Cloreto de Sódio |
| P | Precipitação |
| PPGRHS | Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento |
| PM | Polícia Militar |
| RN | Referência de Nível |
| RTK | <i>Real Time Kinematic</i> |
| S | Inclinação |
| SEMARH | Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos |
| SGB | Sistema Geodésico Brasileiro |
| STL | Sistema Topográfico Local |
| UFAL | Universidade Federal de Alagoas |

| | |
|--------------|--|
| UTM | Projeção Universal Transversal de Mercator |
| UHF | Ultra <i>High Frequency</i> |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| VHF | Very <i>High Frequency</i> |
| ZMT | Zona de Máxima Turbidez |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|--------------------------------------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 2.1 | Estuários | 14 |
| 2.2 | Uso e ocupação do solo – reflexos nas bacias hidrográficas..... | 18 |
| 2.3 | O uso das técnicas de integração ecobatímetro e RTK para a estimativa do assoreamento das zonas dos estuários | 26 |
| 2.4 | Geodésia..... | 27 |
| 2.5 | Área de Estudo..... | 31 |
| 2.5.1 | Dados Climatológicos..... | 33 |
| 2.5.2 | Corrente | 39 |
| 2.5.3 | Marés | 40 |
| 2.5.4 | Sistema de Ondas..... | Erro! Indicador não definido. |
| 2.5.5 | Geologia..... | Erro! Indicador não definido. |
| 2.5.6 | Concentração de Sedimentos e Vazão | Erro! Indicador não definido. |
| 3 | METODOLOGIA..... | 43 |
| 3.1 | Métodos empíricos para estimativa da produção de sedimentos | 43 |
| 3.1.1 | Equação de Khosla | 44 |
| 3.1.2 | Método Garde e Kothyari | 44 |
| 3.1.3 | Fórmulas Lacey-Inglis | 45 |
| 3.2 | Taxa de assoreamento | 45 |
| 3.2.1 | Dados batimétricos | 46 |
| 3.2.2 | Organização e padronização | 48 |
| 3.2.3 | Equipamentos | 48 |
| 3.3 | Etapas de Campo | 49 |
| 3.3.1 | Monumentalização de marcos | 64 |
| 3.3.2 | Calibração do Sonar | 50 |
| 3.3.3 | Coordenadas dos marcos de apoio e de referência de nível | 57 |
| 3.3.4 | Execução do levantamento topobatimétrico..... | 58 |
| 3.3.5 | Processamento dos Dados e Geração dos Arquivos Finais | 60 |
| 3.3.6 | Método batimétrico | 61 |
| 3.3.7 | Processamento dos dados | 66 |
| 3.3.7.1 | Cálculo dos Volumes | 66 |
| 4 | RESULTADOS | 63 |
| 4.1 | Quantificação da produção de sedimentos por métodos empíricos | 63 |
| 4.2 | Quantificação da produção de sedimentos com base em medições batimétricas.. | 66 |
| 5 | DISCUSSÃO | 73 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 80 |
| | REFERÊNCIAS..... | 85 |
| | APÊNDICE A – MAPA DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO..... | 91 |

1 INTRODUÇÃO

O litoral do nordeste brasileiro vem sendo alvo de estudos sistemáticos desde a década de 60, devido à sua biodiversidade. A ocorrência de ambientes estuarino-lagunares neste litoral tem incentivado alguns pesquisadores, seja no âmbito geomorfológico, geológico, biológico ou ambiental. As lagunas são corpos d'água costeiro, semi-abertos à comunicação com o mar, no qual a água do mar se mistura física e quimicamente com água doce proveniente da drenagem fluvial, em regime estuarino (PRITCHARD, 1976). As lagunas são habitualmente caracterizadas por uma fonte de produtividade biológica vinculada à abundância de nutrientes de origem oceânica e continental e à profundidade reduzida das águas, o que comprova o múltiplo significado ecológico e econômico das regiões lagunares, caracterizando-as como regiões costeiras de grande importância, que por outro lado as torna vulneráveis a intensas atividades antrópicas (SANTOS, 1998), estão localizados na zona de mistura das águas continentais e marinhas, criando gradientes de salinidade, com diferentes características biológicas e químicas, e variações temporais na maré, nas entradas, nas estações, nos ventos e nas ondas (PRANDLE, 2009). Geralmente, esses contrastes ajudam a capturar e/ou libertar poluentes, dependendo da sua origem geográfica e geológica (por exemplo, se é rio, mar ou ar). Com seu alto valor econômico e ecológico, estuários e deltas encontram-se inseridos nas grandes metrópoles em todo o mundo e atraem a atenção em termos ambientais e geomorfológicos (WOODROFFE et al., 2006; SYVITSKI; SAITO, 2007). Os estuários também são muito sensíveis às mudanças climáticas e às atividades humanas. Em se tratando de bacias que compõem regiões assoladas por eventos adversos que causam secas e enchentes, necessitam de um acompanhamento que proporcione um gerenciamento preventivo e responsável destes fenômenos, minimizando seus efeitos sobre as populações atingidas e gerando subsídios para a elaboração de estudos nessa região.

Em algumas áreas do mundo, nota-se uma grande redução de escoamento de água doce (RIDD; STIEGLITZ, 2002), à proporção que o nível do mar está subindo. Para entender esse fenômeno, uma avaliação quantitativa da mudança dos perfis de risco dos principais deltas e estuários em todo o mundo indicam que as atuais estratégias de curto prazo (de anos a décadas) para redução de riscos, provavelmente aumentarão os riscos relativos sem criar uma solução sustentável de longo prazo (de décadas a séculos).

No caso dos rios, por exemplo, durante a precipitação, um grande volume de sedimentos da bacia hidrográfica é transportado em direção a lagos, reservatórios e estuários. Segundo Katiyar et al. (2006), esse volume de sedimentos reduz a capacidade de armazenamento e afeta

a vida biótica, de tal modo que há a necessidade de remoção periódica desses sedimentos, com o intuito de diminuir os problemas causados. Kothvari et al. (2002) e Ramachandra et al. (2016) apontam: (1) tendência de aumentar as planícies de inundação; (2) diminuição da capacidade de armazenamento devido ao aumento do nível do leito; e (3) deslocamento da boca dos estuários.

A ocorrência desse fenômeno pode ser justificada pelo crescimento populacional em áreas costeiras, o qual causa uma série de problemas de ordem ambiental e diversos conflitos resultantes das múltiplas atividades humanas exercidas, tais como: turismo, exploração de recursos vivos, indústrias variadas, transporte, agricultura, produção de energia, exploração de recursos minerais, dentre outros. O notório aumento dos conflitos decorrentes do uso e da exploração dos recursos ocasionam diversos tipos de degradação ao meio ambiente nas zonas costeiras, e, nos últimos trinta anos, fez com que essa porção territorial fosse considerada como área prioritária na implantação de políticas ambientais de conservação e desenvolvimento sustentável, a qual requer, de antemão, estudos aprofundados e detalhados sobre os ecossistemas e seus substratos associados.

A perda da infraestrutura, seja pública ou privada, pode atingir significativamente a economia, principalmente em países em desenvolvimento nos quais inexistem recursos que possam recuperar as estruturas atingidas. Tais como os danos causados ao meio ambiente, como é o exemplo aqui do estado de Alagoas, onde o monitoramento sistemático dos mananciais de água doce é muito limitado (GAO, 2015; COLLISCHONN, 2016).

Em decorrência do comprometimento dos recursos hídricos, surgem problemas de natureza muito maior, como o aceleração dos processos erosivos e das perdas de solo, os quais, por sua vez, causam assoreamento nos estuários. A manutenção da qualidade da água em microbacias agrícolas depende da presença da mata ciliar. A remoção da mata ciliar resulta num aumento da quantidade de nutrientes, matéria orgânica e sedimentos no curso d'água. Esse efeito benéfico da mata ciliar é devido à absorção de nutrientes do escoamento sub-superficial pelo ecossistema ripário. Faz-se necessário, portanto, quantificar e controlar racionalmente todo esse processo de erosão de maneira urgente.

A crescente preocupação com os recursos hídricos disponíveis para o uso e o crescente aumento da população nacional provoca a obtenção de mais informações sobre esses recursos pois são imprescindíveis para geri-los. O monitoramento é uma forma de acompanhar ou prever a formação ou continuidade de fenômenos, como assoreamento, que podem ocorrer em determinada área, por consequência, antecipar ações para deter acontecimentos indesejáveis.

Apesar da rara abordagem, a taxa de sedimentação em sistemas estuarinos, no campo observacional, fornece uma avaliação consistente do histórico de sedimentação, sobretudo em ambientes impactados por atividades industriais e urbanas (BENOIT; ROZAN, 2001). Sendo assim, a novidade desse trabalho se dá ao fato da escassez da abordagem de avaliação da taxa de assoreamento por métodos empíricos e da validação com os métodos teóricos. Outrossim, com o aprimoramento da precisão dos sistemas de posicionamento global, além de outras tecnologias, como a aerofotogrametria e equipamentos de sondagem batimétrica, as quais sugerem um ganho tecnológico na obtenção de informações precisas.

Tratando-se de conhecimento da dinâmica sedimentar e do comportamento espaço-temporal do armazenamento em estuários, lagos e reservatórios, em termos globais é extremamente baixo (ALSDORF; RODRIGUEZ; LETTENMAIER, 2007). Visando dar sustentabilidade aos recursos naturais, é necessário ter informações especializadas sobre a dinâmica sedimentar e sobre o potencial de erosão do solo.

O assoreamento é um problema natural, mas pode manifestar-se também como uma questão de cunho socioambiental. O assoreamento forma bancos de areia, os quais dificultam a navegação ou migração de espécies fluviais. A existência de atividades de alto potencial poluidor na região, por si só, justifica a realização de estudos, pesquisas e ações sistemáticas de educação ambiental que venham a fornecer subsídios para o planejamento e desenvolvimento de mecanismos de gestão capazes de garantir a manutenção de padrões adequados de qualidade ambiental e possibilitar o uso múltiplo dos recursos hídricos (BRASIL/ANA, 2011).

Sendo assim, esta pesquisa tem como objetivo geral: quantificar o aporte de sedimentos no sistema estuarino lagunar Mundaú e validar as quantificações com medições de campos com sondagens topobatimétricas e, posteriormente, avaliar as mudanças morfológicas ao longo do canal, identificando tendências. Como objetivos específicos: (i) propor o planejamento e monumentalização da rede geodésica; (ii) criar a estrutura geodésica e cartográfica a fim de auxiliar no georreferenciamento para monitoramento do complexo estuarino lagunar Mundaú; (iii) implantar marcos de apoio que definam transectos batimétricos de controle da superfície submersa da laguna; (iv) realizar o levantamento topobatimétrico com integração GNSS/ecobatímetro para estabelecimento das isolinhas de controle temporal; (v) quantificar o aporte de sedimentos no ano de 2018, por comparação com levantamentos anteriores; (vi) calcular as taxas de assoreamento das áreas entre os perfis transversais ao longo do Canal de Navegação do complexo estuarino lagunar Mundaú com batimetrias dos anos de 1985, 2012, e 2018; (vii) avaliar as mudanças morfológicas ao longo do canal e avaliar tendências. Portanto, é necessário implementar uma batimetria atualizada, cuja técnica consiste em considerar o

volume como proveniente de uma série de prismóides (sólidos geométricos limitados nos extremos por faces paralelas e lateralmente por superfícies planas). No campo, as faces paralelas correspondem às seções transversais extremas, as superfícies planas laterais correspondem à plataforma da estrada e os taludes pertencem as margens. Portanto, através do cálculo de volume por seções transversais das diferenças entre as batimetrias realizadas em diferentes campanhas será obtido o volume do aporte sedimentar.

Com a conclusão desta pesquisa, decorrerão contribuições para:

- o planejamento e gerenciamento futuros dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Mundaú;
- a estimativa da redução da área molhada e lâmina d'água;
- conhecer com que velocidade ocorre a degradação devido ao assoreamento;
- realização de medidas corretivas para melhorar a navegabilidade no estuarino lagunar, como por exemplo, dragagens e outros atos;
- atualização da batimetria do estuarino lagunar Mundaú;
- a análise e o controle do uso da terra na bacia hidrográfica, que é um meio eficiente de proteção dos recursos naturais que a integram.

Desse modo, nas seções, a seguir, serão apresentados: a revisão bibliográfica, a metodologia, os resultados parciais, as discussões acerca desses resultados e as conclusões parciais do desenvolvimento da pesquisa proposta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estuários

Os estuários são representados por uma região de transição entre o sistema de rios, lagunas e oceanos. Uma região na qual há a mistura da água doce com água salgada, com uma concentração de sais de 30 partes por 1.000 em que a maior parte deles é referente ao Cloreto de Sódio – NaCl (CONAMA 357/2005). Por pertencer a uma região que passa por influência do oceano, neste ambiente atuam as forçantes oceanográficas.

No período Holoceno surgiu a maioria dos estuários, caracterizado por uma transgressão marinha e um período de glaciação, o qual durou até o ano 18.000. Com o derretimento das calotas polares, o aumento do nível dos oceanos foi inevitável. Os vales foram alagados resultando na dinâmica e morfologia estuarina (PERILLO, 1995; DYER, 1995; PRANDLE, 2009). Por sua vez, a erosão natural dos canais provocou o assoreamento dos estuários.

Acrescido a isto, devido as grandes mudanças da bacia hidrográfica, ocasionadas por fatores como: desmatamentos, ocupação urbana ilegal e atividade agrícola, que são constantes nos dias atuais, favorecem no volume de sedimentos carreados para os córregos e outros sistemas hidrodinâmicos.

Por serem sistemas que naturalmente exportam sedimentos através de correntes, marés e o depositam através das descargas fluviais e pela inversão de maré que ocorre a cada 6 horas, os estuários também passam por mudanças em suas correntes e, conseqüentemente, em seu nível, fenômenos que provocam maior troca de sais, remansos em certos rios, que é o aprisionamento destes rios gerando pequenos lagos, bem como a diluição de certas substâncias e principalmente os poluentes.

Desse modo, o estuário possui diversas definições características bem distintas, dependendo do sistema ambiental no qual está inserido, sendo assim considerado único. Porém alguns parâmetros, como a morfologia, a hidrologia, o sistema biótico e seus componentes químicos devem ser analisados devido à importância e significância que possuem (PERILLO, 1995).

Pritchard (1967 apud CORRÊA, 2017, p. 11) define estuários como: “corpos de água costeiros semifechados e possuem uma conexão livre com o oceano que contêm uma quantidade mensurável de água do mar que é diluída com água doce derivada da descarga fluvial”.

Dionne (1963 apud MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002) acrescentou uma subdivisão ao ambiente estuário em três grandes subsetores:

- a) Setor Marinho ou Baixo Estuário → região que possui conexão aberta com o mar;
- b) Médio Estuário → região que possui a maior mistura entre a água dos rios e a água do mar;
- c) Setor Fluvial ou Alto Estuário → região que passa pela ação dos rios, mas ainda possui uma pequena interferência das correntes de maré.

Com base na Geologia e sedimentologia, e segundo Dalrymple (1992), que acrescentou características relativas à coluna de sedimentação, o Baixo Estuário é constituído por depressões cujos sedimentos são de origem mais marinha que fluvial e seus processos têm influência das marés e ondas.

Kjerfve (1987 apud MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002) levou em consideração alguns aspectos que julgou principais, como a diluição da água no estuário, a formação geológica e os processos locais como forças hidrodinâmicas e características climáticas.

A seguir será apresentada a segmentação do estuário hipotético e sua respectiva representação, como será visto na Figura 1, na página seguinte:

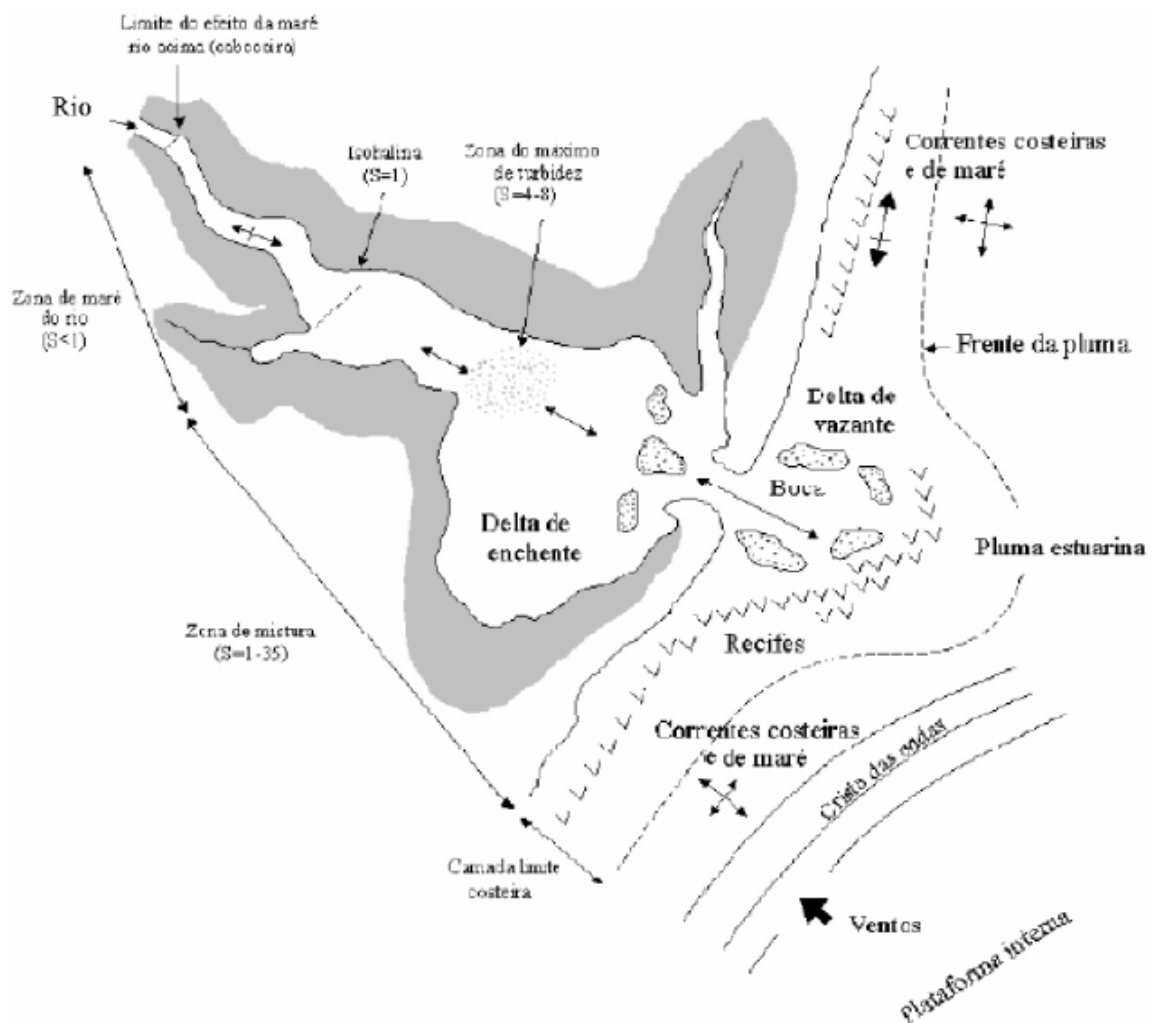
a) Zona de Maré → é a porção do estuário em que as concentrações de sais são baixíssimas, podendo ser consideradas iguais a zero e poderá ter movimentação bidirecional devido à influência da maré;

b) Zona de Mistura → é a principal porção do estuário, em que ocorre a mistura da água fluvial e marinha. Devido a estas particularidades, há grande variabilidade vertical e horizontal da salinidade e das correntes de maré. É neste ponto do estuário que as velocidades se anulam em certos períodos da maré e é por conta deste fato que grande quantidade de material em suspensão, tanto fluvial como marinho, depositar-se no leito do estuário. Em período de maré vazante, há o revolvimento do sedimento depositado, formando, assim, a região denominada Zona de Máxima Turbidez (ZMT). Um dos principais entraves relacionado à atividade portuária ocorre nesta região, pois com a deposição destes sedimentos de origem orgânica e frações granulométricas diversas sobre o fundo estuarino, há redução do nível batimétrico, que em longos períodos inviabilizam a entrada de navios, sendo assim, um entrave à navegação. Acrescida a essa consequência temos uma outra consequência ambiental, que é a redução de volumes exportados pelo meio ambiente, pois nem sempre a vazão do rio será capaz de transpor

este ponto nodal. É importante ressaltar que esta região varia conforme a vazão do rio principal e da altura de maré.

c) Zona Costeira → região costeira próxima que avança até a pluma de dispersão estuarina, com características de água mais turva por influência dos sedimentos finos presentes no sistema. Esta localidade é a mais influenciada pelas correntes longitudinais, transversais e o regime de marés. Na presença de alguns obstáculos, o transporte litorâneo gerado por ondas acaba se acumulando na entrada, impedindo ou dificultando a troca de massas.

Figura 1 – Representação esquemática das regiões de um estuário hipotético com a Zona de Maré, Zona de Mistura e Zona Costeira



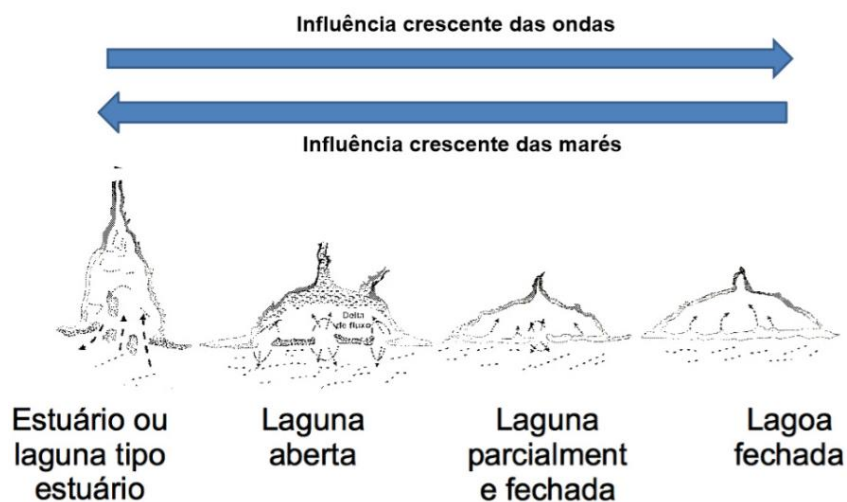
Fonte: Miranda; Castro; Kjerfve, 2002.

Geralmente, as classificações das zonas estuarinas são resultado do transporte de sedimentos, sendo dependentes das forçantes que estão atuando na região. Para Dyer (1995),

na desembocadura do estuário, as principais forçantes são a deriva longitudinal e as ondas com grande período que formam ilhas, cúspides e barras.

Enquanto que a hidrodinâmica e o transporte de sedimentos em estuários são dependentes de forças residuais, pois elas são formadas pelas componentes da descarga fluvial e por correntes de maré, não ocorrendo sempre a exportação para os outros sistemas, ocasionando, com o passar do tempo, um aumento gradativo e exponencial, o que fará com que esta região tenha um assoreamento natural. Em laguna tipo estuário a dinâmica costeira que predomina na morfologia está condicionada à influência das maré ou ondas, conforme mostra figura abaixo:

Figura 2 – A dinâmica costeira condiciona diretamente a morfologia



Fonte: Adaptado de Neto e colaboradores, 2004.

Dentre as principais forçantes, têm-se o aporte fluvial e de sedimentos, forças atmosféricas, ondas e a circulação estuarina. Isso mostra como os estuários são resultado de uma combinação de fatores sobre toda a região ou em regiões específicas, e essa combinação é tão complexa que se mostra não linear. Segundo Dyer (1995), os estuários possuem três tipos de movimentos de sedimentos típicos que são a carga de lavagem, a suspensão e a carga de fundo, descritos abaixo:

a) Carga de Lavagem → movimento oriundo principalmente da bacia de drenagem, na qual os sedimentos com a fração mais fina se movimentam pela ação do Runoff (fração da precipitação que devido à saturação do solo não infiltra e escoa sob o solo), carreando este

sedimento até o estuário que se movimenta mesmo sem a ação de qualquer forçante, sendo dificilmente depositadas somente pela ação da gravidade, o que necessita de flocculantes para sua agregação e posterior deposição. Tem como característica principal, caso seja feita a análise do perfil, uma concentração homogênea;

b) Suspensão → os movimentos de suspensão são relativos àqueles que foram erodidos no assoalho estuarino por conta das forças geradas pelos movimentos oscilatórios das correntes de maré e pela turbulência. Se os sedimentos finos forem erodidos, ele só volta a se depositar caso as correntes tenham baixa intensidade. Tem como característica principal, caso seja feita a análise do perfil, uma concentração gradativa, aumentando conforme se aproxima do fundo;

c) Carga de Fundo → movimento horizontal dos sedimentos no fundo do estuário. Este movimento ocorre por arrasto ou rolamento das partículas, quando elas possuem um diâmetro entre 64µm e 2mm. Porém, as partículas mais finas que 2mm, o movimento ocorre semelhante ao movimento de lama fluída.

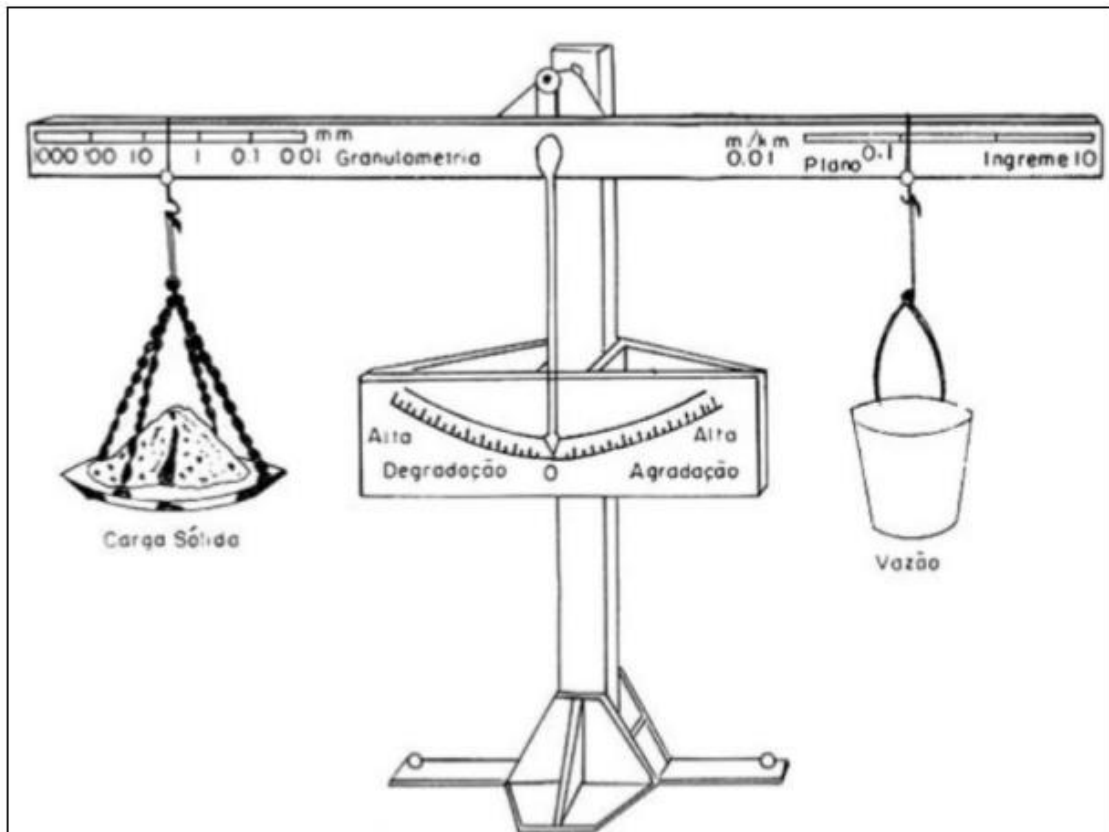
2.2 Uso e ocupação do solo – reflexos nas bacias hidrográficas

O intensivo processo de degradação que corre em zonas de estuários está intimamente ligado ao uso do solo e da ocupação não planejada de seu entorno. A ocupação de áreas impróprias ou de risco intensifica os processos erosivos e de assoreamento. O desmatamento das margens favorece a erosão do solo, uma vez que, o sistema radicular pode melhorar alguns atributos do solo e atua sobre o perfil das encostas de diferentes modos, favorecendo a fixação do solo e opondo-se a degradação por rastejo e erosão elementar – erosão por escoamento superficial. Desse modo, o solo tende a ficar mais desprotegido sem a vegetação, e com a perda de cobertura vegetal, o sedimento erodido passa a ser carregado com mais facilidade até o corpo d'água. Esses efeitos decorrem da falta de aptidão e de compreensão humanas sobre o uso apropriado da terra e de seus recursos.

Apesar de toda habilidade que a humanidade desenvolveu para manipular a terra, essa manipulação exige a preservação e manutenção dos recursos naturais e zelo para que o ecossistema não apresente desequilíbrios. Devido aos recorrentes atos nocivos na manipulação dos recursos hídricos, a consequência tem sido um desequilíbrio, como na Figura 3, que acarreta em degradação/agradação do meio ambiente, a qual é fortemente evidenciada nas regiões do entorno e dentro do próprio ambiente estuarino, por meio da erosão do solo, compactação, falta

de escoamento da água ou inundações mais frequentes, perda do habitat natural, desperdício dos recursos florestais, poluição da água e do ar, destruição da beleza da paisagem, fatos evidentes em muitas partes do mundo, em especial, no complexo lagunar Mundaú, no Estado de Alagoas.

Figura 3 – Representação dos fatores que influenciam o comportamento geomorfológico de um leito fluvial



Fonte: Lane, 1955 apud Carvalho, 2000b.

A consequência da urbanização desordenada é o desaparecimento, em diversos pontos da mata ciliar, o que vem fortalecendo a erosão das margens com consequente assoreamento do leito. Contudo, é possível observar, ainda, que ao longo da planície de inundação, inclusive sobre o mangue, ocorrem diversos pontos de aterramentos, que se tornam necessários para edificação nesse tipo de terreno, muito embora incompatíveis com a legislação local e nacional. Além disso, associado ao processo de urbanização, ocorre a impermeabilização dos solos, que compromete a recarga do lençol subterrâneo e gera sérios transtornos durante o período chuvoso, com os alagamentos de ruas e avenidas. A qualidade dos recursos hídricos também está comprometida a partir do lançamento de efluentes e resíduos sólidos ao rio e em seus afluentes, pela população do seu entorno, sobretudo, daquelas habitações que não dispõem de

saneamento básico. Tais consequências demandaram movimentos em defesa da preservação da natureza.

Para melhor compreendermos o surgimento dessas ações em defesa do ambiente natural, faz-se necessário uma breve contextualização histórica: logo após a Segunda Guerra Mundial, sobretudo a partir da década de 1960, alguns estudos começaram a constatar que, em curto período de tempo, a depender da forma de manejo, a humanidade poderia caminhar aceleradamente para o esgotamento ou a inviabilização de recursos naturais indispensáveis à própria sobrevivência. Assim sendo, algo deveria ser feito para alterar as formas de ocupação do planeta, estabelecidas pela cultura dominante. Esse tipo de constatação gerou o movimento de defesa do meio ambiente, que luta para diminuir o acelerado ritmo de destruição dos recursos naturais ainda preservados e que busca alternativas que conciliem, na prática, a conservação da natureza com a qualidade de vida das populações que dependem desses recursos naturais (INSTITUTO AMBIENTAL VIDÁGUA, 1996). Buscando entender melhor a respeito da conservação da natureza Alveirinho, 2004, procurou mapear a origem de diversas fontes da produção de sedimentos e estudou a quantidade média de partículas terrígenas transferidas anualmente do continente para o oceano, obtendo valores superior a 20 bilhões de toneladas (não considerando, evidentemente, as substâncias que para aí são transportadas em suspensão e acabam, por ação química ou biogénica, por ir integrar os sedimentos), ou seja, mais de 75% da quantidade total de materiais que anualmente, chega aos fundos marinhos, conforme consta na tabela 1.

Tabela 1 – Quantidades estimadas de sedimentos transferidos do continente para o oceano

| MEIO DE TRANSPORTE | FORNECIMENTO (109 TONELADAS) | PERCENTAGEM (%) |
|----------------------------------|---|------------------------|
| Rios (esc. superficial) | 18,3 | 85,9 |
| Vento (transporte eólico) | 0,6 | 2,8 |
| Glaciares (icebergs) | 2,0 | 9,4 |
| Ejecções vulcânicas | 0,15 | 0,7 |
| Erosão costeira | 0,25 | 1,2 |

Fonte: Alveirinho, 2004.

A compreensão sobre a expressão uso da terra pode ser melhor interpretada como o modo pelo qual o espaço está sendo ocupado pela humanidade. O levantamento de uso da terra consiste em mapear e avaliar qualitativa e quantitativamente tudo o que existe sobre a litosfera (ROCHA, 1997). Por meio desse tipo de levantamento, pode-se conhecer a deterioração

causada ao ambiente pelo uso inadequado das terras, tendo em vista que, as erosões, a perda de solo agrícola, o assoreamento de cursos d'água e as inundações são algumas das consequências do mau uso da terra.

O uso da terra consiste na forma pela qual o espaço está sendo ocupado pela humanidade. A atualização desse uso e a distribuição espacial são essenciais para o manejo eficiente dos recursos agrícolas e florestais, para que suas tendências possam ser bem analisadas. Os levantamentos de uso da terra são de grande importância, uma vez que o uso desordenado dos espaços resulta em deterioração do ambiente (INPE, 1980).

O uso da terra, segundo o *Plano diretor de solos*, da Souza Cruz (1998), considera:

a) Topos de morros ou encostas: nestas áreas deve-se manter a cobertura florestal original, pois são completamente inadequadas para uso agropastoril. Sem a cobertura vegetal, estas áreas ficam sujeitas a processos erosivos que determinam um impacto bastante severo no ambiente;

b) Áreas de meia encosta: em função de apresentarem ainda declividade relativamente acentuada, a fragilidade destes terrenos é grande, devendo seu uso ser bastante criterioso. Quando estas áreas já foram desmatadas, o mais adequado é que sejam destinadas para o reflorestamento. O perigo maior são as áreas sem cobertura vegetal, que ficam muito expostas à erosão, inclusive porque poderão comprometer as partes que estão mais abaixo;

c) Encosta com meia declividade: nestas áreas mais próximas à porção plana do terreno, é possível se fazer uma utilização mais diversificada. No entanto, a inclinação do terreno ainda determina cuidados com relação à erosão, evitando culturas anuais. O uso destas áreas é indicado para a formação de pastagens ou pomares de frutíferas. A locação de estradas deve ser feita corretamente buscando-se minimizar os prejuízos decorrentes das enxurradas;

d) Encostas suaves: estes solos podem ser utilizados para culturas anuais, mas necessitam sempre de práticas de conservação do solo e de contenção da erosão;

e) Áreas planas: em geral, são áreas com solos mais profundos e férteis. Associadas a topografia plana, tornam-se preferenciais para as culturas anuais, pois condicionam uma alta produtividade. Mesmo nestas áreas, o produtor deve utilizar práticas de conservação e melhoramento de solos;

f) Margens de curso d'água: a água é um recurso valioso indispensável, portanto, deve-se ter o máximo de cuidado com sua conservação. A estratégia mais adequada para a conservação dos recursos hídricos é a manutenção de florestas nos topos de morros, encostas e a utilização de todas as práticas que evitem o escoamento superficial e aumentem a infiltração

no solo. Para complementar, deve-se manter a floresta nas margens dos cursos d'água, pois desta maneira preservam-se seus limites, evita-se o assoreamento e minimizam-se os riscos de contaminação, além de contribuir para a manutenção da fauna silvestre.

Rocha (1997) comenta que a destruição do meio ambiente, através do mau uso da agricultura e pecuária causa deterioração física, socioeconômica e ambiental nas bacias hidrográficas do Brasil. A natureza sempre responde com erosões, secas, enchentes, doenças, os quais causam miséria generalizada.

Pereira, Formaggio e Strauch (1995) salientaram que a ocupação rural brasileira, sobretudo nas áreas de fronteira agrícola, tem ocorrido de forma desordenada, contribuindo para o empobrecimento e a exaustão dos solos. Ademais, urge ressaltar que o efeito nocivo desse uso inadequado, caracterizado, primordialmente, pelo intenso processo erosivo, compromete inexoravelmente biótopos e biocenoses, resultando na deterioração ambiental e, conseqüentemente, na insustentabilidade do desenvolvimento. Portanto, estudos voltados à identificação de diferentes taxas de adequabilidade de ocupação das terras, relacionando o uso atual *versus* uso potencial, revestem-se de grande importância, pois, além de permitirem a orientação e/ou reorientação de uso, contribuem para evitar impactos, como: redução do potencial produtivo dos agrossistemas; assoreamento e contaminação de mananciais; destruição de estradas, pontes e construções; e o decorrente êxodo rural, principalmente.

Na área rural, a atividade agrícola malconduzida tem levado a situações desastrosas de erosão de solo. A camada superficial de solo, que é a mais fértil, é arrastada pelas chuvas, deixando para trás valas e crateras nas fazendas, empobrecendo o solo e assoreando represas, além de levar para as águas dos rios, resíduos de adubos e agroquímicos. Essa remoção de terra fértil representa milhões de reais que o país perde anualmente, exigindo aplicações cada vez maiores de fertilizantes nas áreas erodidas, para que se possa manter a produtividade agrícola.

O mal uso do solo agrícola inclui, entre vários outros fatores, o plantio “morro abaixo” em vez do plantio em curva de nível, a aração ou gradagem excessiva ou em condições inadequadas de umidade e tipo de solo, a alta taxa de lotação nas pastagens e falta de manutenção/renovação, plantio em áreas declivosas sem aptidão agrícola para culturas anuais etc. Assim, a recuperação das áreas degradadas pelo uso, tanto na área rural como urbana, assume uma enorme importância do ponto de vista ecológico, econômico, agrícola e social.

Em algumas situações, com a permanente atividade agrícola, ocorreu um processo contínuo de desmatamento, ou seja, a derrubada da mata nativa, a queimada, a atividade agrícola intensa, o uso maciço de agroquímicos, a falta de consciência do uso racional do solo, a formação de pastagens e posterior abandono da área. Com isso, o solo foi totalmente exaurido,

perdendo grande parte de sua capacidade de produção, o que o torna muito susceptível aos diversos tipos de degradação, efeito do mau uso da terra.

A conservação ambiental em áreas de desenvolvimento agropecuário, tomando como referência as microbacias hidrográficas, pressupõe a integração de esforços, na solução de problemas comuns das comunidades envolvidas, visando a ocupação e o uso racional do espaço rural. A microbacia constitui a célula de um programa integrado, cujas ações devem contemplar interesses e necessidades das comunidades nela inseridas, em termos de melhoria da produtividade, da renda e do bem-estar, ao lado da imprescindível conservação do meio ambiente e da preservação dos recursos naturais não renováveis (FLORES; NASCIMENTO 1994).

Segundo publicação do Instituto Ambiental Vidágua (1996), a deterioração ambiental transcorre em alterações e desequilíbrios provocados no meio ambiente que afetam os seres vivos ou impedem os processos vitais ali existentes antes dessas alterações. Embora possa ser causada por efeitos naturais, a forma de degradação que mais preocupa governos e sociedades é aquela causada pela ação antrópica, que pode e deve ser regulamentada.

A atividade humana gera impactos ambientais que repercutem nos meios físico-biológicos e socioeconômicos, afetando os recursos naturais e a saúde humana, podendo causar desequilíbrios ambientais no ar, nas águas, no solo e no meio sociocultural. Algumas das formas mais conhecidas de degradação ambiental são: a desestruturação física (erosão, no caso de solos), a poluição e a contaminação.

Valente (1974) afirma que o aumento da população mundial, bem como o desequilíbrio biológico, decorrente desta própria explosão populacional, traz sérias preocupações sobre o fornecimento de água às gerações futuras, quer em quantidade, quer em qualidade.

Segundo o Instituto Ambiental Vidágua (1996), na medida em que a humanidade aumenta sua capacidade de intervir na natureza para satisfação de necessidades e desejos crescentes, surgem tensões e conflitos quanto ao uso do espaço e dos recursos em função da tecnologia disponível.

Tucci (1993) lembrou que a ação humana, no planejamento e desenvolvimento da ocupação do espaço Terra, requer cada vez mais uma visão ampla sobre as necessidades da população, os recursos terrestres e aquáticos disponíveis e o conhecimento sobre o comportamento dos processos naturais na bacia hidrográfica, para racionalmente compatibilizar necessidades crescentes com recursos limitados.

Retirar a vegetação de um determinado local, além de alterar a paisagem contribui para o enfraquecimento do solo. O solo exposto fica sujeito à erosão e deixa os animais sem abrigo.

O desmatamento realizado sem controle acarreta um planejamento de recuperação da área desmatada que pode levar até mais de 50 anos.

A perda da cobertura florestal aumenta a quantidade e a velocidade do escoamento superficial com o conseqüente aumento da capacidade de arraste e transporte de material. A desagregação de colóides pela ação das chuvas e a diminuição da rugosidade da paisagem fazem com que a ação do escoamento superficial, nas encostas e nos leitos dos cursos de água, desequilibre os processos erosivos naturais das bacias hidrográficas (SCHROEDER, 1994), o qual determina, por seu turno, a diminuição da área agricultável e o empobrecimento dos solos.

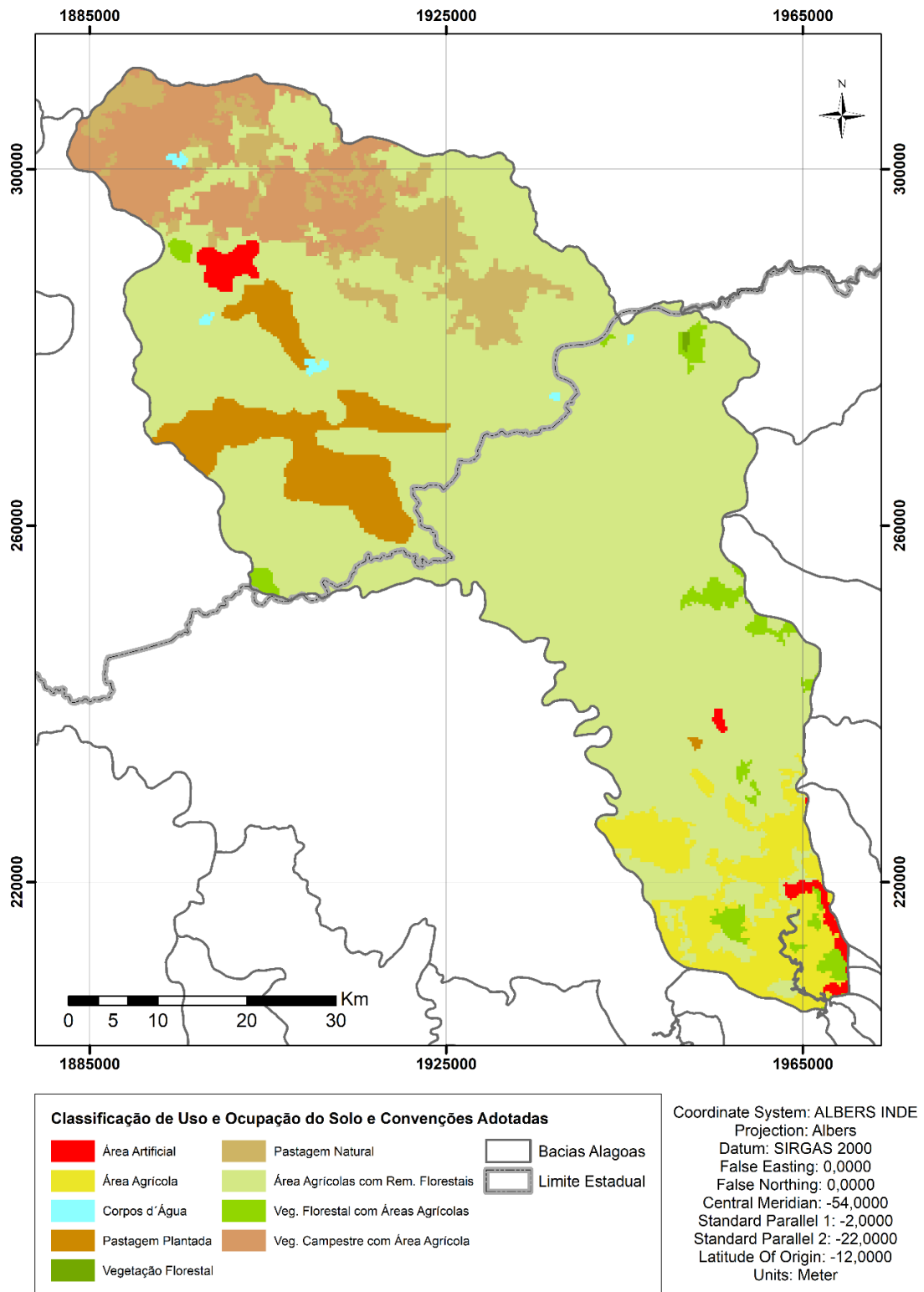
Carvalho et al. (2000) comentam que a mais óbvia medida preventiva no controle de sedimentos é, na maioria das vezes, desprezada pelos projetistas e diz respeito às regiões das cabeceiras dos rios, à alta bacia, que tem grande contribuição de escoamento, mas pequena proporção de carga sólida. Preservar as florestas nessas regiões é de suma importância para que não se tornem responsáveis por grande produção de sedimentos.

Nas matas, a maior parte da água fica retida nas folhas, que são importantes, no sentido de reduzir a velocidade das gotas de água, minimizando o impacto desta no solo. O desflorestamento é uma das causas do equilíbrio morfogenético que acelera a evolução das vertentes. A retirada da vestimenta vegetal natural faz crescer o escoamento superficial.

O tamanho e a profundidade do corpo lagunar são fatores importantes para a descrição e o estudo desses ambientes. Estuários lagunares que podem ser relativamente profundos, a depender do nível de degradação, são locais de deposição de sedimentos mais finos que podem estar associados a áreas tectônicas. O ingresso de água doce é decisivo nas condições hidrológicas e deposição de material. Lagunas, nas quais desembocam grandes rios, são preenchidas rapidamente por sedimentos finos, sua água salobra e a salinidade aumenta da desembocadura em diante (CORRÊA, 1997). Enfim, o assoreamento da laguna provoca graves danos à natureza e, conseqüentemente, à humanidade. Com o propósito de intervir nesta realidade, embasada nos autores citados, propomos apresentar um estudo relativo à taxa de assoreamento, a qual poderá contribuir junto ao poder público como uma ferramenta de auxílio nas tomadas de decisões, visando minimizar ou extinguir os danos ambientais que acarretam em mudanças econômicas e sociais para todos os usuários deste sistema costeiro. Na Figura 4, o mapa de uso e ocupação do solo e a tabela com os valores correspondentes das áreas, respectivamente, foram gerados através do arquivo vetorial da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM¹.

¹ É uma empresa governamental brasileira, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que tem as atribuições de Serviço Geológico do Brasil, esse órgão do governo é subordinado à Agência Nacional de Águas – ANA.

Figura 4 – Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Mundaú



Fonte: Autor, 2018.

Tabela 2 – Áreas (km²) de uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Mundaú

| RÓTULOS DE LINHA | SOMA DE ÁREA |
|--|---------------------|
| Área agrícola | 263,429182 |
| Área artificial | 45,478155 |
| Corpo d'água continental | 9,4375 |
| Mosaico de agropecuária com remanescentes florestais | 2.869,936603 |
| Mosaico de vegetação campestre com Áreas Agrícolas | 338,925889 |
| Mosaico de vegetação florestal com Áreas Agrícolas | 77,476592 |
| Pastagem natural | 269,477653 |
| Pastagem plantada | 246,448823 |
| Vegetação florestal | 1,4375 |
| Total Geral | 4.122,047897 |

Fonte: Autor, 2018.

2.3 O uso das técnicas de integração ecobatímetro e RTK para a estimativa do assoreamento das zonas dos estuários

Com o surgimento de novas tecnologias, foi possível criar outras alternativas para os levantamentos batimétricos com mais precisão, entre elas, destaca-se a **integração**, que envolve três sistemas: o acústico, o inercial e o *Global Navigation Satellite System* (GNSS). É realizada em um computador portátil, através de um *software* específico. A posição de cada sensor utilizado é determinada em relação ao sistema de referência ultrassonora da embarcação (centro de massa ou arbitrário).

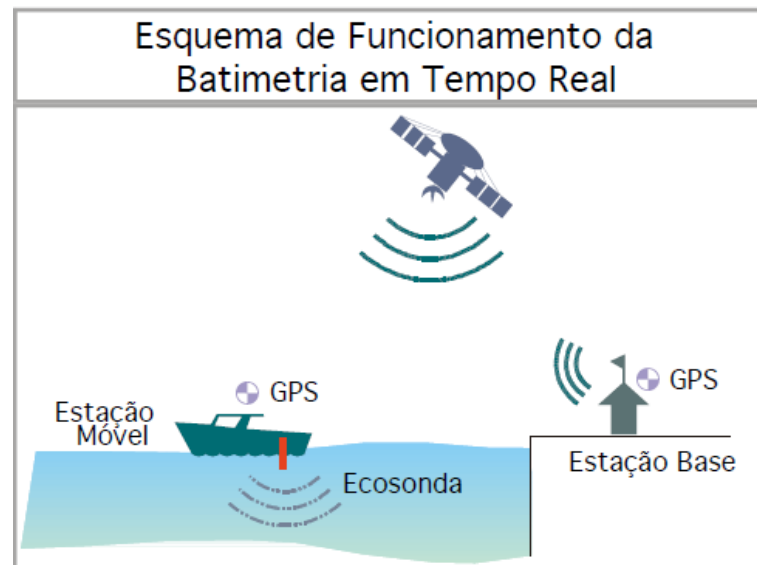
O posicionamento das sondagens realizadas com um ecobatímetro pode ser determinado através de um sistema RTK, o qual, basicamente, contém dois conjuntos receptores/antenas GNSS L1 ou L1 e L2, um *link* de comunicação de rádio para transmitir (a uma taxa mínima de 2.400 bits por segundo) e receber as correções das observáveis da estação base e um *software* para realizar o processamento dos dados em tempo real. No sistema de rádio, utilizam-se as faixas de frequência *Ultra High Frequency* (UHF) ou *Very High Frequency* (VHF) (MONICO, 2008).

O sistema de posicionamento diferencial em tempo real, apresentado na Figura 5 (abaixo), consiste numa estação de referência, designada por “base”, instalada num ponto de

coordenadas conhecidas, e numa estação móvel, colocada no local onde se pretende obter o posicionamento. A estação de referência permanecerá durante toda a operação, adquirindo o posicionamento via satélite e enviando as correções via rádio para a estação móvel, a bordo da embarcação.

No âmbito marinho e na hidrografia, a concepção inicial do GPS era a de um sistema de navegação. Posteriormente, novos campos de aplicação para esse sistema foram aparecendo. Atualmente, há interesse nas aplicações em tempo real (p. ex. na orientação das dragagens) e na integração com outros ramos que necessitam de coordenadas precisas (como p. ex. GIS); e sistemas (p. ex. ecobatimetria).

Figura 5 – Esquema geral de funcionamento da batimetria em tempo real através de sistema de posicionamento GPS diferencial



Fonte: Autor, 2018.

Na embarcação móvel, o sistema de posicionamento DGPS está interligado com a sonda batimétrica (também designada por eco-sonda) através do *software*, registrando simultaneamente o posicionamento e a profundidade, adquiridos com uma frequência pré-definida.

2.4 Geodésia

A Geodésia é a ciência responsável pela determinação das dimensões e forma da Terra, assim como seu campo gravitacional. Dessa forma, ela compreende o estudo das operações para as medições de campo, também conhecidas como levantamentos geodésicos, assim como o

estudo dos métodos de cálculos aplicados a sua finalidade. Para isso, seu problema inicial é definir referenciais de medição e determinar as coordenadas de pontos sobre a superfície física da Terra ou até mesmo sobre outras superfícies de interesse (GEMAEL, 1999). Tem-se, então, a necessidade de definir o sistema de coordenadas apropriado para o levantamento.

Na Geodésia, há três superfícies: superfície topográfica (correspondendo ao aspecto exterior e irregular da superfície real terrestre), superfície elipsoidal (determinada pelo modelo geométrico) e superfície geoidal (definida pela superfície equipotencial do campo gravitacional) (SOUZA; GARNES, 2012).

Um sistema de coordenadas é utilizado para identificar de forma unívoca a localização de um objeto num espaço. Há vários tipos de sistemas de coordenadas, dos quais serão mencionados os sistemas de coordenadas plano-retangulares e geográficas.

O sistema de coordenadas plano-retangulares consiste de dois eixos geométricos perpendiculares entre si, formando quatro quadrantes. O eixo primário (horizontal) é denominado eixos das abscissas e representado pela letra “x”, já o eixo secundário (vertical), designado pela letra “y”, é chamado de eixo das ordenadas (SILVA, 2015). O Sistema Topográfico Local (STL), que utiliza coordenadas plano-retangulares, é um sistema de representação em planta das posições relativas de pontos de um levantamento topográfico com origem em um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas (ABNT, 1998).

Devido à superfície terrestre ser irregular, utiliza-se um elipsoide de revolução, que é uma superfície matemática de simples representação, como referência para a condução dos cálculos geodésicos para determinação das coordenadas geodésicas dos pontos. Para essa determinação, utiliza-se um par de coordenadas determinadas sobre uma superfície esférica de referência. No caso das Coordenadas Geodésicas, utiliza-se um elipsoide de revolução. Por se tratar de arcos, as coordenadas horizontais são expressas em ângulos, denominados Latitude e Longitude Geodésicas, enquanto a coordenada vertical, altitude elipsoidal (SILVA, 2015).

Em alguns casos, há necessidade de transformação de coordenadas entre sistemas distintos ou de coordenadas no mesmo sistema, mas com diferentes datas (1986, 2012, 2018). A transformação de coordenadas é a operação matemática que consiste em relacionar dois sistemas de coordenadas, para que um ponto posicionado em um sistema possa ser localizado no outro sistema (SILVA, 2015).

Um Sistema Geodésico de Referência (SGR) é um sistema de coordenadas formado por um campo de pontos fixos e materializados cujas coordenadas são determinadas através de medições geodésicas. O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é mantido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Entende-se por SGB o conjunto de pontos

geodésicos implantados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país. Todas as informações espaciais do país estão referenciadas a ele (IBGE, 1983). Seus referenciais são fixados pelo Art. 21 do Decreto nº 5.334, de 2005.

As três superfícies utilizadas na Geodésia nem sempre coincidem, ocorrendo em afastamento entre elas e criando determinações diferentes para este distanciamento. Tem-se que a distância entre o ponto na superfície física da Terra e a sua projeção na superfície geoidal ao longo da linha vertical é chamada de altura ortométrica. Por sua vez, a distância de um ponto na superfície terrestre ao longo da normal ao elipsoide e a sua projeção na superfície elipsoidal é definida por altura geométrica (VITTUARI et al., 2016).

Tem-se que a ondulação geoidal é aproximadamente igual a diferença entre a altura geométrica e a altura ortométrica. Essa ondulação pode ser determinada através de modelos geoidais específicos (ABNT, 1998). O geoide é geralmente utilizado como superfície de referência para as altitudes e profundidades.

Há diferentes técnicas e observáveis que fornecem níveis de precisão que variam de milímetros a dezenas de metros, aplicadas ao posicionamento através do GNSS. Os métodos de posicionamento podem ser classificados como estáticos e cinemáticos, dependendo do movimento da antena, assim como tempo real e pós-processado. Dependendo da utilização ou não de uma estação de referência, as técnicas podem ser divididas, respectivamente, em posicionamento relativo e posicionamento por ponto preciso (IBGE, 2008).

Na técnica de posicionamento relativo, em que dois receptores GNSS coletam dados simultaneamente, as coordenadas dos pontos de interesse são determinadas em relação a um ou mais vértices de coordenadas conhecidas, chamados de estação base. No posicionamento relativo estático, os receptores da base e do ponto de interesse ficam parados durante todo o levantamento. No *Real Time Kinematic* (RTK) há transmissão instantânea de dados de correções dos sinais de satélite para o receptor localizado nos pontos de interesse a partir dos receptores instalados na base (MONICO, 2008).

Para o cálculo da diferença de nível é utilizado o método do nivelamento geométrico. Este método consiste na utilização de nível topográfico e miras verticais graduadas. Os pontos a serem nivelados são ocupados com a mira e a leitura é feita através do nível. Recomenda-se a colocação do nível em posições equidistantes dos pontos que se desejam determinar o desnível para assim evitar erro de curvatura da Terra e refração atmosférica (MCCORMAC, 2007).

Uma rede geodésica se constitui de uma rede de pontos materializados no terreno, cujas posições foram obtidas por meio de observações e cálculos rigorosos. O processo para

implantação de uma rede geodésica é dado pelos seguintes procedimentos: reconhecimento da área, projeto da rede, materialização dos pontos, medição dos pontos, ajustamento e verificação dos resultados. No caso de os resultados não atenderem aos critérios de precisão, deve-se retornar ao segundo passo dos procedimentos (OLIVEIRA, 2007).

Considerando que há sempre a presença de erros nas observações, deve-se sempre obter medidas redundantes durante os levantamentos, para que dessa forma os ajustes das observações sejam realizados e, então, aumentar a precisão dos valores finais.

O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), que se baseia no princípio que a soma dos quadrados dos resíduos das observações deve ser um mínimo, é indicado quando o número de observações é redundante, ou seja, quando um sistema de equações tem maior número de equações que de incógnitas. Nos principais métodos de posicionamento, utilizam-se as grandezas geométricas, ângulos e distâncias, que podem ser ajustadas pelo MMQ (GEMAEL, 2015).

O levantamento batimétrico de reservatórios tem por finalidade a determinação da superfície submersa. Então, a determinação da distribuição e volume do sedimento é objetivo da batimetria (MATOS, 2012). Sua finalidade é determinar em cada ponto sua posição horizontal e a profundidade da água. Portanto, em posse das coordenadas dos pontos no espelho d'água e a sua profundidade, é possível modelar o fundo do reservatório e representar a sua superfície (BILHALVA, 2013). As formas mais comuns para representação do relevo terrestre são curvas de nível e Modelo Digital de Terreno (MDT).

As curvas de nível são linhas imaginárias que conectam pontos de mesma cota, ou seja, são formadas pela interseção de um plano horizontal com a superfície do terreno. A distância vertical entre duas curvas de nível sucessivas é chamada de equidistância das curvas de nível (MCCORMAC, 2007). Adicionalmente, o MDT é uma representação matemática da distribuição espacial de porção real da superfície terrestre (FERREIRA et al., 2017). Porém, o produto resultante de uma coleta de dados é uma nuvem de pontos amostrais que não é capaz sozinha de gerar um MDT, sendo necessário, então, o uso de interpoladores.

A qualidade do MDT está basicamente ligada à qualidade dos instrumentos utilizados num levantamento, a estratégia de campo, o método utilizado e o interpolador. Há vários modelos de interpoladores descritos na literatura, cada um com uma particularidade específica.

Dessa forma, cada interpolador pode servir para uma amostra de dados específica. Então, para evitar erros na criação do MDT, deve-se testar diferentes interpoladores cuja finalidade é definir o que melhor representa a superfície estudada (POPIELARCZYK ET AL

al., 2015). Dito isso, torna-se relevante atentar-se para a forma como representar melhor o relevo do leito da laguna no que diz respeito à qualidade e precisão.

2.5 Área de Estudo

Com cerca de 27km², a laguna Mundaú faz parte do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Mundaú, o qual percorre 30 municípios, sendo oito sedes municipais ribeirinhas, drenando uma área de 4.126km². O rio percorre 52,2% no estado de Pernambuco e 47,8% em Alagoas. Sua nascente localiza-se no município pernambucano de Caetés, na parte sul do Planalto da Borborema e entra em Alagoas na cachoeira da Escada, ao sul de Correntes-PE e noroeste de Santana do Mundaú-AL. Atravessa a área central da mata alagoana e chega ao litoral, com a sua foz afogada formando a laguna Mundaú (TENÓRIO, 1985).

A bacia do rio Mundaú possui uma rede hidrológica composta por nove estações fluviométricas, dezoito estações pluviométricas e estações de monitoramento de qualidade da água. O rio Mundaú é o mais importante da bacia e que dá nome à Região Hidrográfica. Caracteriza-se por ser perene, com precipitação média anual de 900mm e uma vazão média anual de 30,6m³/s. A região litorânea é a que concentra os máximos valores de precipitação, com médias em torno de 2.000mm, devido a influências de brisas que transportam bandas de nebulosidade, ocorrendo os maiores volumes de chuva nos meses de fevereiro a julho que correspondem a, aproximadamente, 72,6% de toda precipitação anual local. Na medida em que o rio se aproxima da região do Polígono das secas, a precipitação diminui. Isso pode ser verificado nas séries históricas ao longo da bacia do rio Mundaú (GOMES et al., 2004).

O rio Mundaú deságua numa lagoa de pulsação de maré, de mesmo nome, situada na região metropolitana de Maceió. A lagoa do Mundaú integra o complexo estuarino lagunar Mundaú – Manguaba (CELMM), na sua porção mais ao norte, lagoas que margeiam vários núcleos urbanos dos municípios de Maceió, Marechal Deodoro, Pilar, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte, Satuba e Rio Largo.

Além do rio Mundaú, esse estuário lagunar recebe diversos rios e córregos locais, além do rio Paraíba na lagoa sul, ou de Manguaba. As lagoas se interligam através da região denominada de canais tendo ligação única com o mar através da boca da barra. Estas características promovem condições de fluxo complexas, inclusive devido à incursão das marés de preamar. Assim, é de se esperar que tanto as águas dos rios e canais que deságuam no complexo lagunar como a água do mar em refluxo, influenciem as condições hídricas e ecológicas da lagoa Mundaú.

O crescimento das populações nos vales dos rios que alimentam o complexo, com a consequente elevação da atividade agropecuária e industrial que refletiu na perda de qualidade da água desses rios, veio afetar também a condição nas lagoas. Este aspecto foi amplamente discutido em janeiro deste ano pela comunidade técnica do Estado de Alagoas, cuja meta principal é desenvolver um programa de gestão integrada do complexo lagunar. Da análise da situação atual deste ecossistema, os participantes destacaram os seguintes problemas mais importantes:

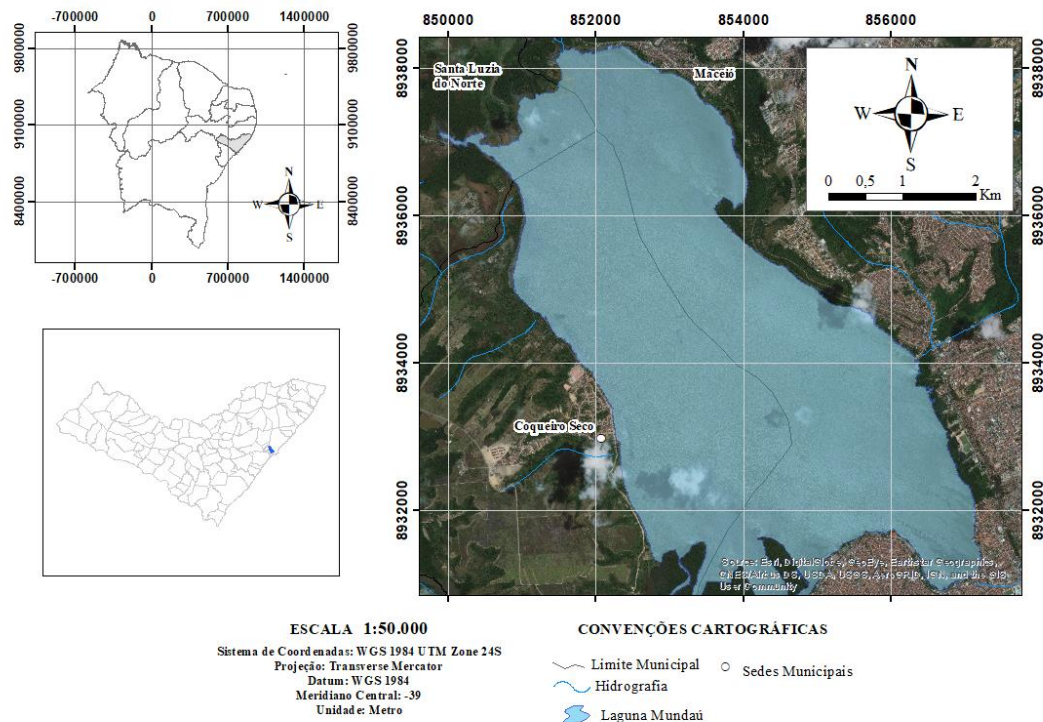
- poluição das águas superficiais e sedimentos;
- deficiência de saneamento básico;
- deficiência de serviços públicos – saúde e educação;
- pouca conscientização ambiental e mobilização social;
- baixo nível de emprego e renda;
- manejo inadequado dos resíduos sólidos;
- ocupação desordenada da orla;
- sobrepesca e pesca exploratória;
- ocupação em áreas de risco;
- poluição do lençol freático;
- destruição do mangue;
- assoreamento do complexo lagunar.

Vários projetos de recuperação deste ecossistema estão em andamento na região de influência mais direta, tanto com repercussão socioeconômica como ecológica, sob a coordenação de alguns dos participantes do seminário, que visou inclusive promover uma maior integração dessas ações. A partir da identificação dos problemas deste complexo estuarino, foi traçado no referido encontro o plano de gestão, tendo como principais programas:

- Desenvolvimento Socioeconômico e Cultural;
- Proteção dos Ecossistemas;
- Ordenamento do Uso e Ocupação do Solo;
- Ordenamento do Uso de Águas e Recursos Aquáticos;
- Controle da Poluição;
- Saneamento Básico.

Abaixo na Figura 6, temos o mapa com a área onde o estudo foi realizado em sua configuração em planta.

Figura 6 – Mapa de Localização da Laguna Mundaú



Fonte: Autor, 2018.

2.5.1 Dados Climatológicos

2.5.1.1 Temperatura

Verifica-se que as temperaturas mensais médias registradas em Maceió e Palmeira dos Índios são muito próximas, registrando-se apenas uma amplitude de 2,8°C em torno de uma média anual de 24,8°C em Maceió, 4,8°C em torno de uma média anual de 24,4°C em Palmeira dos Índios e 3,7°C para uma média anual de 20,5°C em Garanhuns. É evidente que as médias mensais de montante da bacia recebem influência dos níveis de altitude, predominando a estação de Garanhuns com 822m, seguindo a estação climatológica do IPA, em Correntes, com uma altitude de 630m. As médias mensais mais elevadas ocorrem no período de novembro a março e as mais baixas no período de maio a setembro.

A análise das temperaturas máximas revela uma amplitude de 7,7°C em torno de uma média anual de 25,5°C em Garanhuns, 3,4°C em torno de uma média anual de 28,9°C em

Maceió e 6,9°C em torno da média anual de 30,2°C em Palmeira dos Índios. Os maiores valores das máximas temperaturas ocorrem no período de novembro a março e os menores valores entre maio a setembro.

As temperaturas mínimas têm suas médias mensais registradas entre junho e setembro em Garanhuns, com média anual de 16,9°C, enquanto Maceió registra seus mínimos entre junho e setembro, com média anual de 21,6°C e Palmeira dos Índios com 20,1°C. A amplitude das temperaturas mínimas médias mensais é de 3,2°C em Palmeira dos Índios, 2,5°C em Maceió e 3,1°C em Garanhuns.

2.5.1.2 Precipitação

As precipitações registradas nas três estações meteorológicas tomadas como referência, apresentam uma forte variação no total anual entre Garanhuns e Maceió, ou seja 870 mm contra 2.166 mm, com o trimestre mais chuvoso em Garanhuns (maio-julho) ocorrendo o mesmo na estação de Maceió. Os trimestres de menores precipitações ocorrem, em média, entre outubro – dezembro.

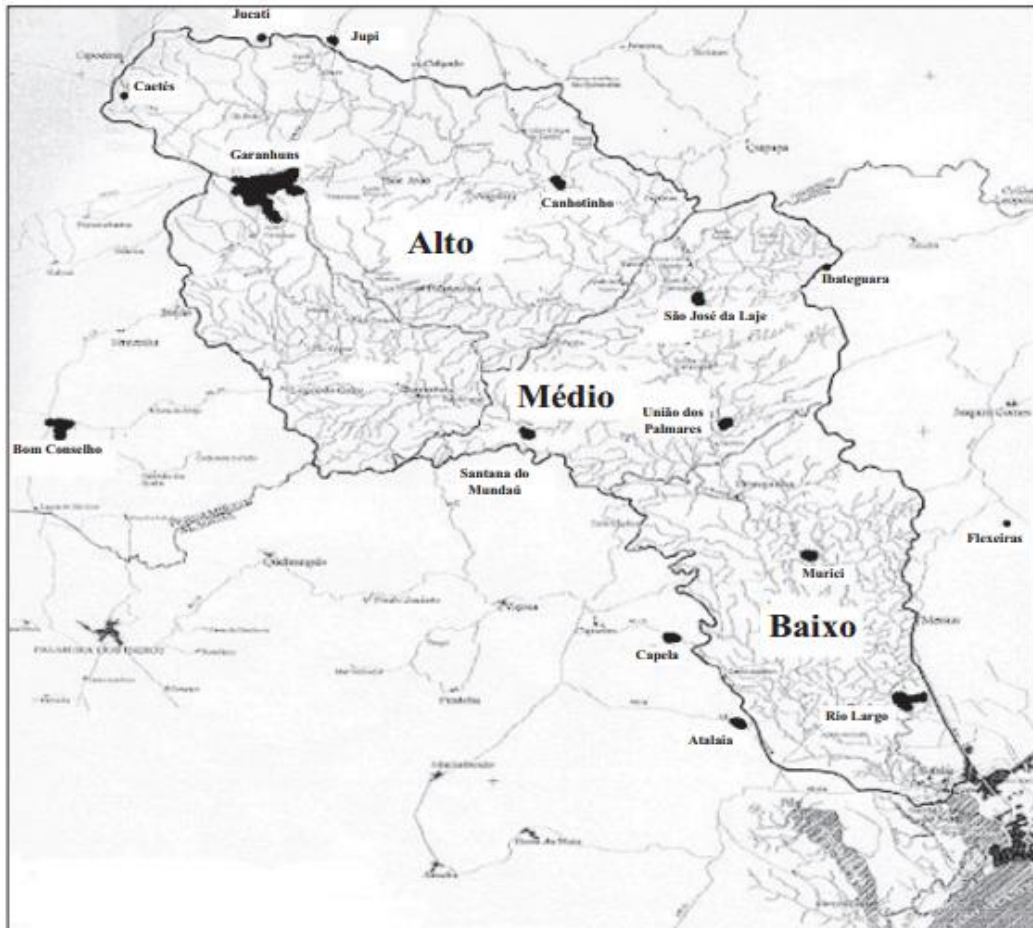
Por outro lado, a estação de Garanhuns, registra uma precipitação diária máxima, no período observado, que alcançou 407 mm em 28/04/79. Palmeira dos Índios acompanha os valores registrados em Garanhuns.

A Figura 7 mostra a configuração longitudinal da bacia hidrográfica, uma vez que os processos de erosão fluvial de desagregação, transporte e deposição de sedimentos alteram-se no decorrer do tempo e no espaço em função das forças de desagregação representadas pela velocidade e turbulência do escoamento e forças de resistência representadas pela natureza do leito (rocha, areia e material coesivo), em que, na alta bacia, em função da energia predominante do escoamento, ocorrem fortes degradações, o que favorece forte produção de sedimentos, especialmente, sedimentos de granulometria grosseira, na média bacia situa-se uma área de transferência e predominam sedimentos de granulometria da fração areia e na baixa bacia, local da bacia mais próximo à foz, é mais comum que ocorra forte aggradação, por ser uma região de baixa energia do escoamento, assim os sedimentos são de granulometria fina (silte e argila).

- No Baixo Mundaú – BM: os municípios de Murici, Flexeiras, Capela, Atalaia e Rio Largo;
- No Médio Mundaú – MM: os municípios de União dos Palmares, São José da Lage, Ibataguara e Santana do Mundaú;

- No Alto Mundaú – AM: os municípios de Bom Conselho, Caetés, Canhotinho, Garanhuns, Jucati e Jupi.

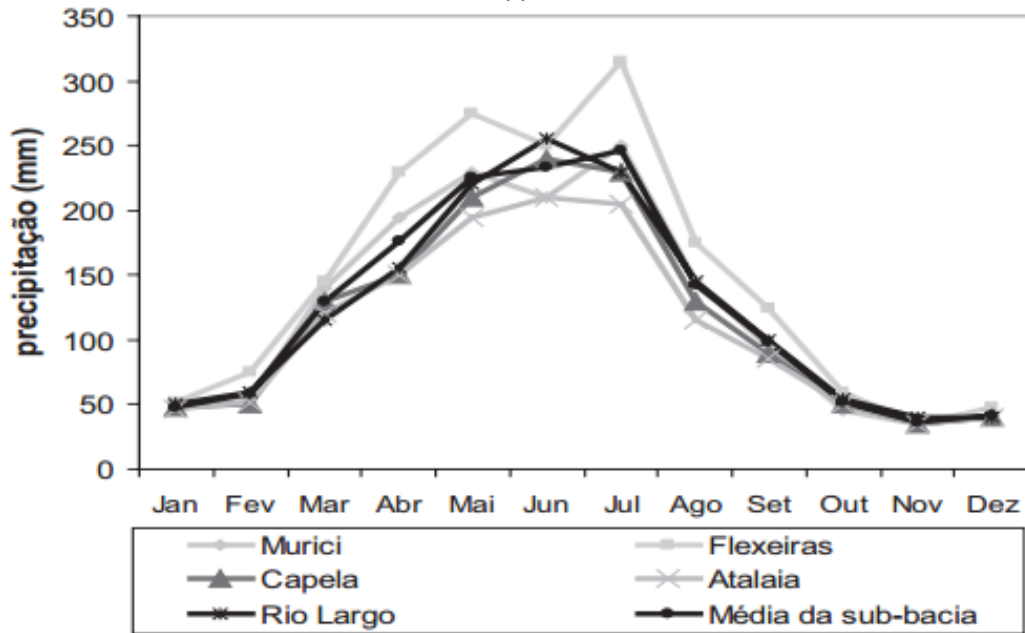
Figura 7 – Mapa de identificação do Alto, Baixo e Médio Mundaú



Fonte: INFOCLIMA, 2000.

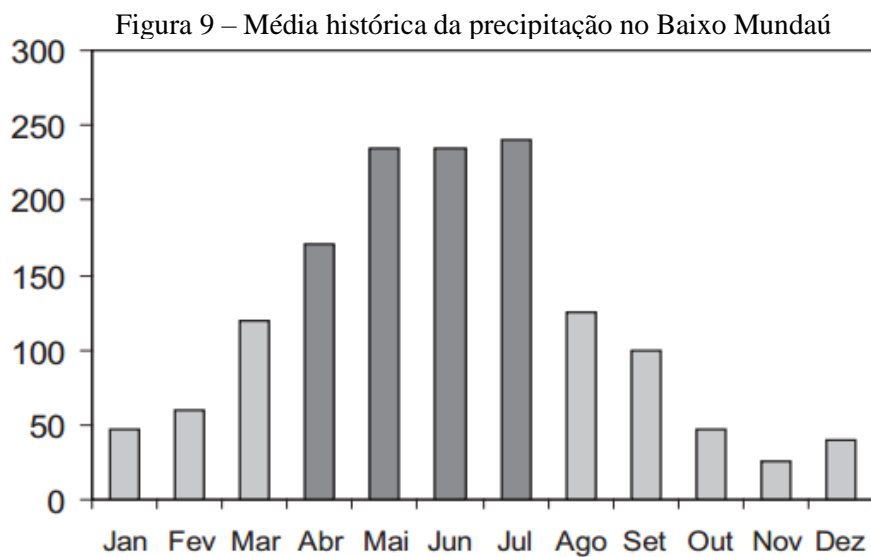
Na Figura 8 abaixo, observamos que, de acordo com a Agência Nacional das Águas – ANA, o período entre 1955 a 1991 apresentou a média climatológica de municípios do Baixo Mundaú. Percebe-se que Flexeiras e Rio Largo apresentam-se como as regiões mais chuvosas; Atalaia, em boa parte do período, permaneceu com a precipitação abaixo da média. Desse modo, mostra-se a média climatológica de municípios do MM. Flexeiras e Rio Largo apresentam-se como os mais chuvosos, enquanto que Atalaia, em boa parte do ano, permaneceu com seus valores de chuva abaixo da média. A quadra chuvosa para o Baixo Mundaú se estendeu de abril a julho e os meses mais secos ocorreram entre outubro e janeiro,

Figura 8 – Precipitação média mensal dos municípios do Baixo Mundaú (AL), no período de 1955-1991



Fonte: INFOCLIMA, 2000.

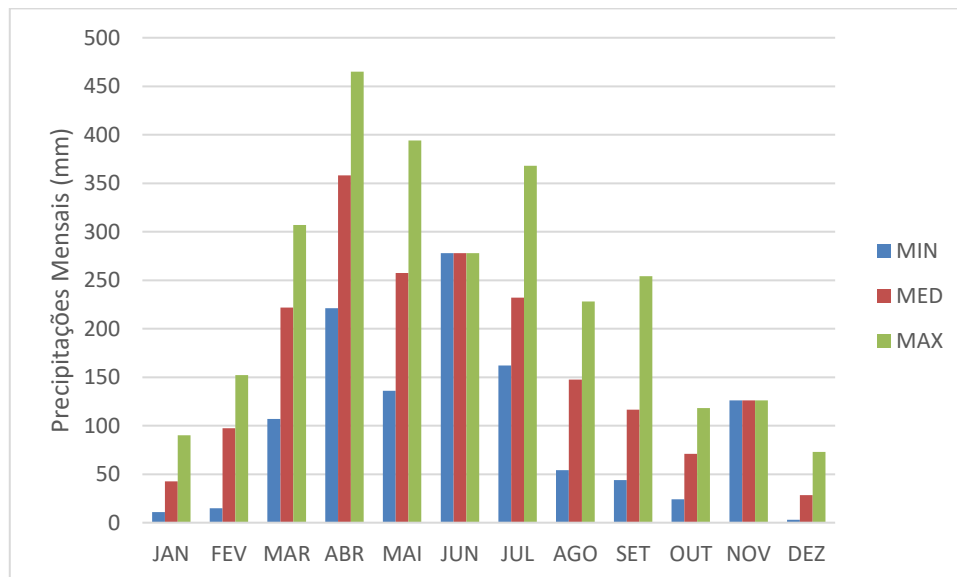
Na Figura 9, mostra-se a média histórica da precipitação no BM, com isso, vemos que os meses de abril, maio, junho e julho foram chuvosos para o BM, enquanto os meses de outubro a janeiro foram mais secos.



Fonte: INFOCLIMA, 2000.

Na Figura 10 temos a pluviometria mínima, média e máxima mensal da estação de Maceió no período de 1961 até 2018.

Figura 10 – Pluviometria mensal média da Estação 82994 de Maceió. Período de Dez-1961 a Dez-2018.

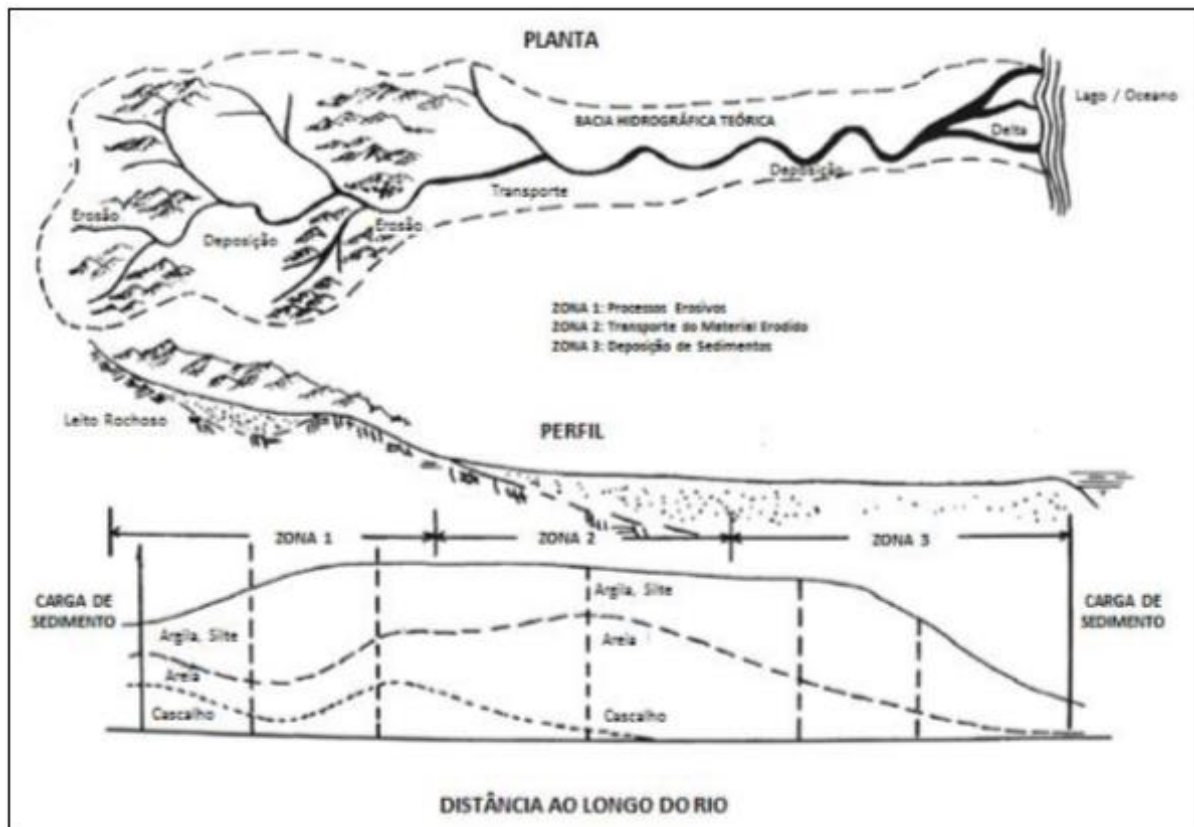


Fonte: Autor, 2018.

Na foz do rio Mundaú, encontra-se a laguna Mundaú, a qual compõe o Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM). As lagoas estão localizadas no sudeste de Maceió, no litoral médio de Alagoas, cuja formação se deve ao barramento da foz dos rios Mundaú e Paraíba, na medida em que depositam sedimentos marinhos e o consequente afogamento de seus leitos. Alagoas possui 17 lagoas ao longo do seu litoral, no entanto, Mundaú e Manguaba destacam-se por sua extensão, proximidade da capital, número de ribeirinhos, produtividade, além dos problemas ambientais e sociais enfrentados.

Conforme os esclarecimentos de Glymph (1973) e Carvalho et al. (2000), é normal que o curso da água transporte sedimentos, seja por arrasto ou saltitação junto ao leito. Levados pela corrente, é natural que esses sedimentos sejam depositados na baixa bacia (FIGURA 11), portanto, é normal que o fluxo de sedimentos corra até à baixa bacia, deposite-se, conforme o encontro com a água em menor velocidade, ou seja, altera-se o fluxo e os sedimentos se acumulam em regiões com um declive mais suave. Nesta situação, Giosan et al. (2014) reforçam a necessidade dos estudos para encontrar medidas corretivas e se antecipar para reduzir os impactos, visto a existência, inclusive, de regiões próximas que são habitadas, podendo ocorrer inundações, como as que aconteceram em maio de 2017.

Figura 11 – Distribuição dos sedimentos ao longo do curso d'água



Fonte: Adaptado de Morris e Fan, 1998.

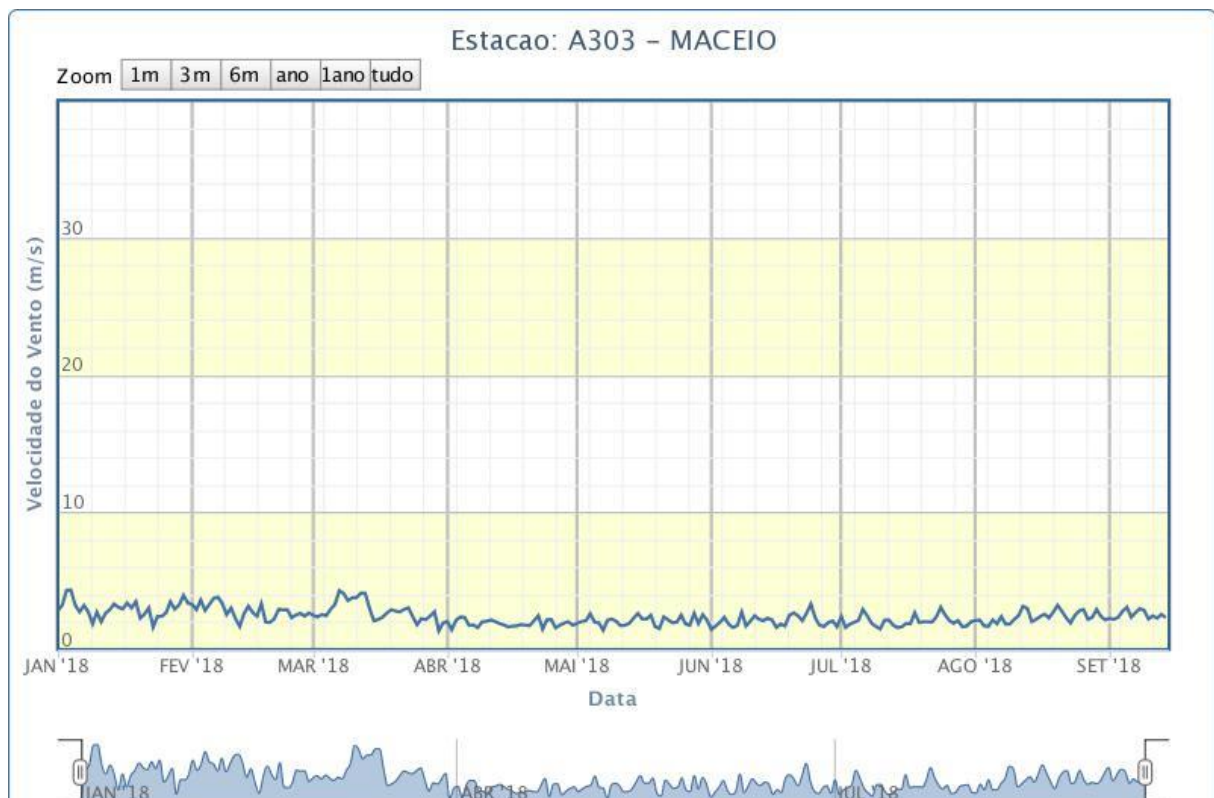
A carência de estudos recentes com dados batimétricos de alta resolução capazes de estimar as taxas de assoreamento no complexo do Mundaú impede a compreensão das diversas alterações morfológicas ocorridas no estuário. Dado o custo expressivo para estudos quantitativos de descarga sólida e de sondagem batimétrica, não é dada a devida importância de se compreender a dinâmica do sistema costeiro, que é crucial para avaliar estados atuais e estimar o futuro desenvolvimento sob a influência de forças naturais, direta e indireta antropogênica, as quais irão fornecer uma base científica para estratégias e medidas em resposta a futuras mudanças globais (LUAN et al., 2016; CHIAPPORI; HORA; AZEVEDO, 2016).

2.5.1.3 Vento

Os ventos mais frequentes e intensos durante os meses de junho e julho são do quadrante SE, com frequência de 22,62 % e 33,57 %, respectivamente, e com velocidade média de 5,53 m/s em junho e de 6,08 m/s em julho.

As variações de direções nos meses de seca foram do quadrante N a E em janeiro e de NNW a SE em fevereiro. Os ventos mais frequentes foram de E nos dois meses, com 37,9% para janeiro e 21,13 % para fevereiro, e o dominantes foram do quadrante E com velocidade média de 5,94 m/s em janeiro e 4,92 m/s em fevereiro, com maiores médias no quadrante ENE (6,3 m/s) e S (4,74 m/s).

Figura 12 – Velocidade do Vento



Fonte: INMET, 2018.

2.5.2 Corrente

Observou-se que durante o inverno, em maré de sizígia e baixa precipitação, as correntes influenciam a circulação lagunar mesmo nos pontos mais a montante, levando à inversão das direções das correntes no ciclo de maré. Porém, quando se tem um período de precipitações

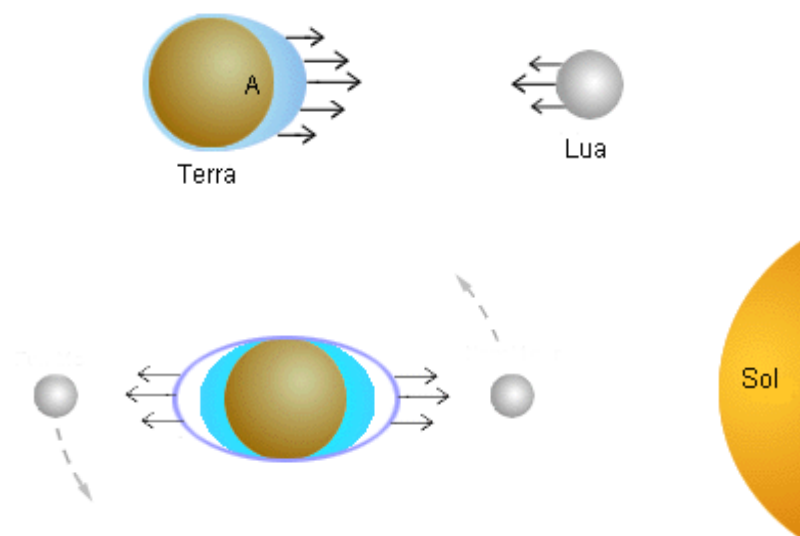
intensas e maré de quadratura, essa inversão é reduzida devido às descargas fluviais e às variações do nível da água em face da onda de maré nos canais de ligação (LIMA, 1998).

No setor central da laguna, foi constatada uma corrente circular no sentido horário, tanto na enchente com na vazante. Nos canais, a influência da maré é fundamental, levando à inversão das direções das correntes na meia maré enchente e meia vazante.

2.5.3 Marés

A conjugação da atração gravitacional entre os corpos do sistema Terra-lua-sol e rotação da Terra em torno de seu eixo são os principais fatores responsáveis pela ocorrência do fenômeno das marés, no qual as águas do mar atingem limites máximos e mínimos com determinada regularidade. As atrações gravitacionais do Sol e da Lua sobre a Terra causam, em geral, duas marés altas por dias em cada ponto da Terra, separadas por cerca de 12 horas. De fato, se for observada uma maré alta às 10h da manhã, por. ex., a próxima maré ocorrerá por volta de 22h12min, ou seja, cerca de 12 min. além das 12 horas de diferença. Na Figura 13 temos de forma representativa simplificada sobre a atração gravitacional da interação terra-lua no fenômeno das mares.

Figura 13 – Fenômeno das marés



Fonte: Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

O subir e descer das marés são registrados por uma medida de comprimento relativa à altura, em intervalo de 12 horas, como neste exemplo.

2.5.4 Sistema de Ondas

As ocorrências das ondas durante a maior parte do ano, são do quadrante SE, no entanto, de dezembro a fevereiro, se propagam na direção E – SE com altura média de 1,0 m. Durante o inverno, meados de junho a agosto, apresentam uma altura média de 0,65 a 1,15. Porém, no verão a convergência das ortogonais de ondas de 5 e 6,5 sofrem influência do canyon de Maceió, direcionando o transporte de sedimentos de NE para SW, e as ortogonais de onda 8 e 1,05 seg, de maior ocorrência que as anteriores, mostram uma relação de divergência com o canyon de Maceió, ora no sentido do porto, ora para o inlet, segundo Marques (1987).

2.5.5 Geologia

A bacia sedimentar Sergipe-Alagoas foi individualizada a partir de diferenças importantes em seu caráter estrutural e estratigráfico. A bacia Alagoas ocupa uma faixa costeira alongada de cerca de 220 km de extensão e 40 km de largura média, tendo como limite norte, com a bacia Pernambuco-Paraíba, o alto de Maragogi e ao sul o Alto de Japoatã-Penedo, com a bacia de Sergipe.

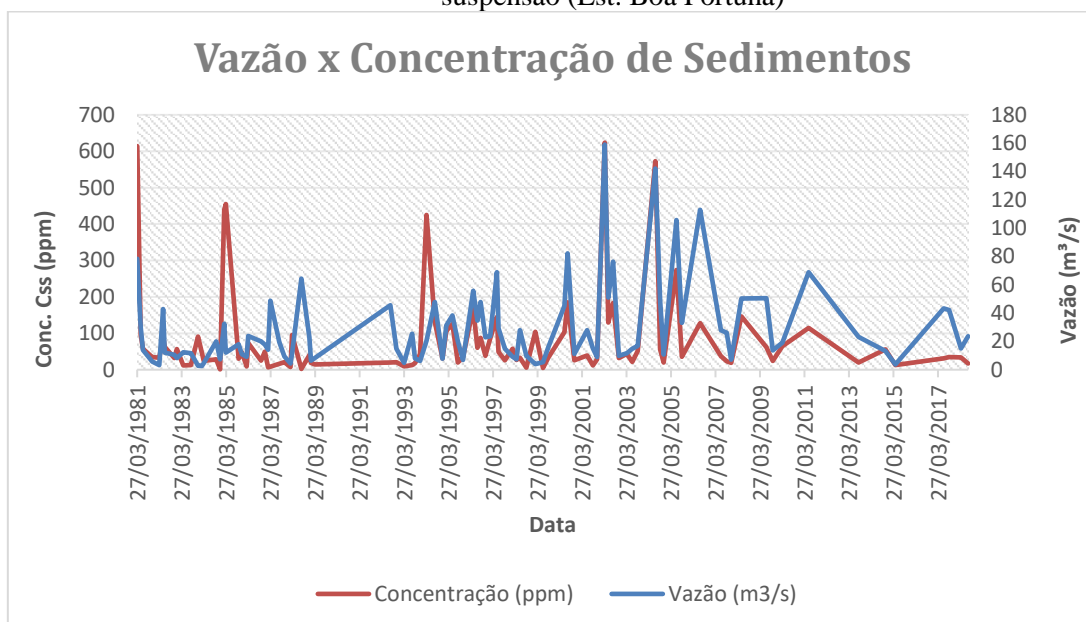
A bacia Alagoas assenta sobre rochas do embasamento, e sua história deposicional tem início no paleozoico superior, com a deposição dos clásticos do grupo Igreja Nova (Formações Candeeiro, Bananeiras e Serraria). Acima destas, estão os sedimentos clásticos e evaporitos do grupo Coruripe, caracterizados pela rápida variação de fácies, correspondentes às fases rift e transicional da Bacia Alagoas (Formações Barra de Itiúba, Penedo, Coqueiro Seco, Poção, Ponta Verde e Maceió).

Ainda no Cretáceo inferior deu-se a primeira transgressão marinha na bacia, com a deposição dos clásticos grossos, evaporitos e carbonatos constituintes do grupo Sergipe (Formações Riachuelo e Cotinguiba). Sobrejacentes a este, tem-se o grupo Piaçabuçu (Formações Calumbi, Mosqueiro e Marituba), constituído por clásticos grossos e carbonatos marinhos neocretáceos e terciários, que em Alagoas não são encontrados na superfície. Finalmente, culminando o processo de deposição, a variação do nível do mar e os agentes de erosão, propiciaram e propiciam até hoje o acúmulo dos sedimentos marinhos, fluviais, eólicos e flúvio-lagunares que compõem a planície costeira Quartenária

2.5.6 Concentração de Sedimentos e Vazão

As elevadas CSS no início da cheia, apresentando um pico, que possivelmente corresponde à carga de lavagem, comparativamente apresentam uma correspondência com o acréscimo da vazão em períodos de cheias, a construção da curva-chave de sedimentos, depende das condições de chuva antecedente, intensidade da chuva, compactação do solo e carga disponível para transporte, fatores estes que apresentam grande variação nos diversos eventos. Apesar da relação complexa entre a vazão e a concentração de sólidos em suspensão, na Figura 14 é possível observar as oscilações do volume do escoamento superficial que estão associados aos eventos de precipitação que ocorreram na bacia. As mudanças de comportamento do gráfico da vazão acompanham mesmo de maneira pouco expressiva, para alguns casos, as variações da concentração de sedimentos em suspensão, porém durante os anos secos de 1979 e 1990 no alto mundaú a correlação não ocorreu da melhor maneira esperada, uma vez que na alta bacia, tal influencia se dá em razão da região ser caracterizada por zonas de maior altitude, são também locais onde há maior energia no escoamento superficial e que favorecem no desempenho dos processos de desagregação das partículas devido ao atrito do fluxo com os taludes e o leito, tudo isso impulsiona a capacidade de carreamento das partículas em suspensão que vão sendo transportadas ao longo do canal longitudinal, fazendo com que as alterações no regime das chuvas ocorridas na alta bacia resultem em reflexos sentidos na baixa bacia.

Figura 14 – Representação gráfica dos dados históricos de vazão e concentração de sedimentos em suspensão (Est. Boa Fortuna)

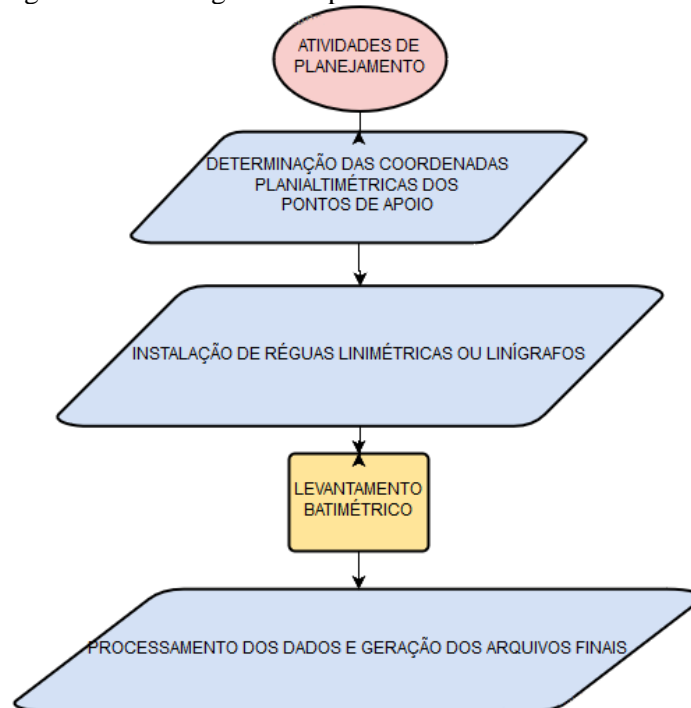


Fonte: Autor, 2019

3 METODOLOGIA

Este estudo foi realizado de acordo com as seguintes etapas: etapa de planejamento, etapa de campo e etapa de produção dos resultados. No fluxograma abaixo será apresentado as etapas necessárias para execução do levantamento batimétrico.

Figura 15 – Fluxograma do processo da atividade batimétrica



Fonte: Autor, 2019.

Abaixo iremos destrinchar em detalhes a execução de cada atividade composta nesta metodologia.

3.1 Métodos empíricos para estimativa da produção de sedimentos

Os métodos empíricos envolvem quantificação da produção de sedimentos usando plataforma GIS e dados espaciais. Esses métodos consideram várias características da físicas da bacia hidrográfica, tais como: uso da terra, topografia, solo, precipitação, tamanho da captação, descarga etc. (RAMACHANDRA et al., 2016). Os métodos empíricos para estimativa de sedimentos são ferramentas importantes, e de baixo custo. O método empírico é aplicado por seu rigor e por sua objetividade de maneira que é baseado em dados que serve de base para investigação com o propósito validar os métodos teóricos.

As características topográficas da bacia do rio Mundaú foram obtidas através do modelo de elevação digital SRTM (*Earthexplorer*, USGS). Os dados de precipitação foram obtidos no portal HidroWeb que é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados, bem como os dados de descarga cujo as medições de campo realizadas por estações fluviométrica (estação da fazenda boa fortuna) monitorada pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) no ano de 2012 e 2018, para o mesmo período correspondente a quadra chuvosa (maio, junho e julho) na região da bacia .

3.1.1 Equação de Khosla

A produção de sedimentos é diretamente proporcional à Área de Drenagem. O método de Khosla é dado como na equação (KHOSLA, 1953; RAHUL et al., 2012; MUTREJA, 1986), onde A é a área de drenagem em km quadrados e 0,00323 é o fator de erosão, segundo Ramachandra et al. (2017).

$$\text{Produção de Sedimento} \left(\frac{\text{Milhões.m}^3}{\text{Ano}} \right) = 0,00323 A^{0,72} \quad (1)$$

3.1.2 Método Garde e Kothyari

A produção de sedimentos é determinada com base nos dados do estuário. Os fatores como a precipitação (P), a inclinação (S), a densidade de drenagem (Dd), o fator de erosão (Ke) que depende das características de uso da terra desempenham um papel importante na determinação da sedimentação (equações 2 e 3).

$$\text{Produção de Sedimento} \left(\frac{\text{milhões } m^3}{\text{ano}} \right) = 0,02 P^{0,6} K_e^{1,7} S^{-0,25} D_d^{0,1} \left(\frac{P_{max}}{P} \right)^{0,19} \quad (2)$$

$$K_e = \frac{1}{A} (0,8A_a + 0,3A_f + 0,6A_g + 0,1A_w) \quad (3)$$

onde Pmax é a precipitação mensal máxima média, A é a área de Captação total, Aa é área Irrigável, Af é área de Floresta, Ag é área sob terra de grama e Aw está sob terras de Resíduos.

3.1.3 Fórmulas Lacey-Inglis

Desenvolvido no início do século XX, considera o escoamento (descarga como m^3/s), tamanho médio de partícula (mm) para quantificar a deposição de sedimentos (GARDE; KOTHYARI, 1998; KOTHYARI, 2007). Este método utiliza as observações de descarga para a quantificação da produção de sedimentos em comparação com medições anteriores. Com base nas medições de descarga realizadas.

$$D_{LQ} = 0,47 K \left(\frac{Q}{f} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

$$f = 1,76 \sqrt{d} \quad (5)$$

onde D_{LQ} é a profundidade de limpeza em centímetros, Q é descarga em m^3/s , f é o fator de limpeza, d é tamanho de partícula de areia muito fina que varia entre 0,15 e 0,43 mm, K varia entre 1,76 e 2,59.

3.2 Taxa de assoreamento

Em decorrência da grande variabilidade espaço-temporal, serão criadas três seções transversais de interesse dentro da laguna Mundaú, com a distância de 1km entre si, exceto uma seção diagonal (seção guia) – uma seção auxiliar – que será instalada com o propósito de referenciar às três seções transversais os possíveis erros que serão corrigidos.

Para execução desse trabalho, inicialmente será preciso dividi-lo em duas etapas: procedimentos de campo e procedimentos de laboratório. Inicialmente a primeira etapa do trabalho constará também a escolha do local de instalação das seções de medição. Segundo Santos (2001), a escolha do local, deve ser baseada nas seguintes condições:

- a) Deve garantir a acessibilidade em qualquer circunstância e ser local de fácil acesso e no caso da existência de observador, o mesmo deve morar próximo à seção;
- b) o local deve estar suficientemente afastado das confluências, para evitar o efeitos de remanso;
- c) o local deve ser livre das ações antrópicas (construção de pontes, modificação de barrancas, etc.);

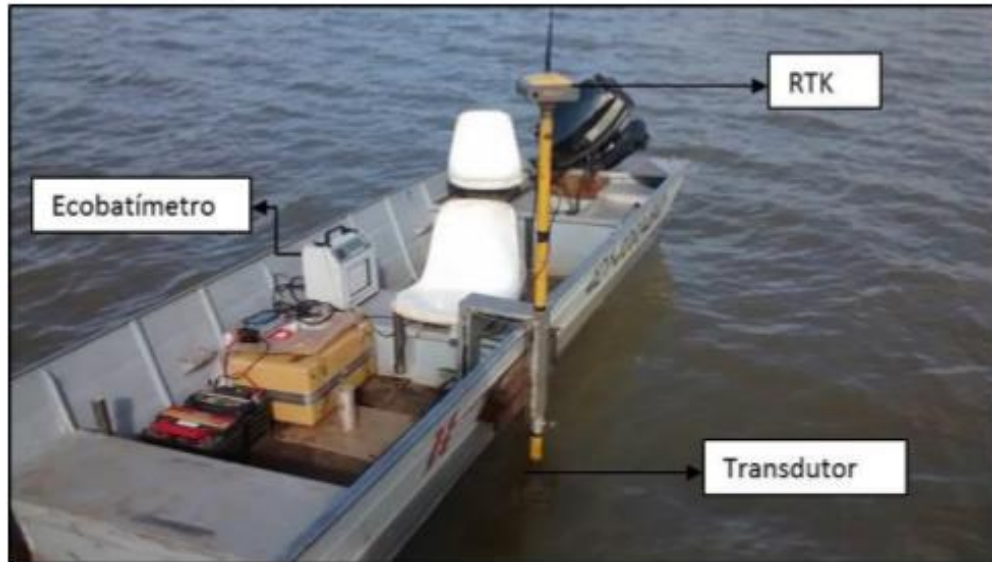
A escolha do local ideal para as seções levará a conflitos diversos, pois é importante assegurar as condições seguindo os critérios técnicos de escolha para o local de medição, segurança (banco de areia, rede de pesca ou caiçaras) e econômicas, ou seja, muitas vezes não reúne todas as condições descritas anteriormente. Deve-se, portanto, fazer um estudo criterioso dos locais, procurando aquele que se não for o ótimo, deve pelo menos garantir a boa qualidade dos dados coletados.

Após as seções serem escolhidas em campo, suas coordenadas serão devidamente identificadas com auxílio do GPS/RTK. Próximo ao local de cada seção serão implantados os marcos topográficos. Algumas visitas preliminares apontam para se obter seções espaçadas da ordem de 3,5km. O valor do assoreamento será definido a partir da diferença entre as batimetrias que obtiverem uma alteração de seu volume em um determinado período, sendo dividido pelos meses (do ano de 2018) referentes ao intervalo de cada batimetria para obtenção da taxa de assoreamento expressa em m³/mês.

3.2.1 Dados batimétricos

O levantamento batimétrico é a atividade principal de um levantamento hidrográfico e tem como objetivo determinar a profundidade do fundo submarino, de rios, córregos, lagos artificiais e naturais, atrelando a sua respectiva posição espacial. Nessa coleta de dados, são utilizados, geralmente, ecobatímetro, sonares de varredura lateral, perfilamento a laser, imagens de satélites e outros. Abaixo, a Figura 15 mostra a disposição dos equipamentos que serão utilizados nas campanhas.

Figura 15 – Embarcação e equipamentos utilizados no levantamento batimétrico



Fonte: Mezine et al., 2016.

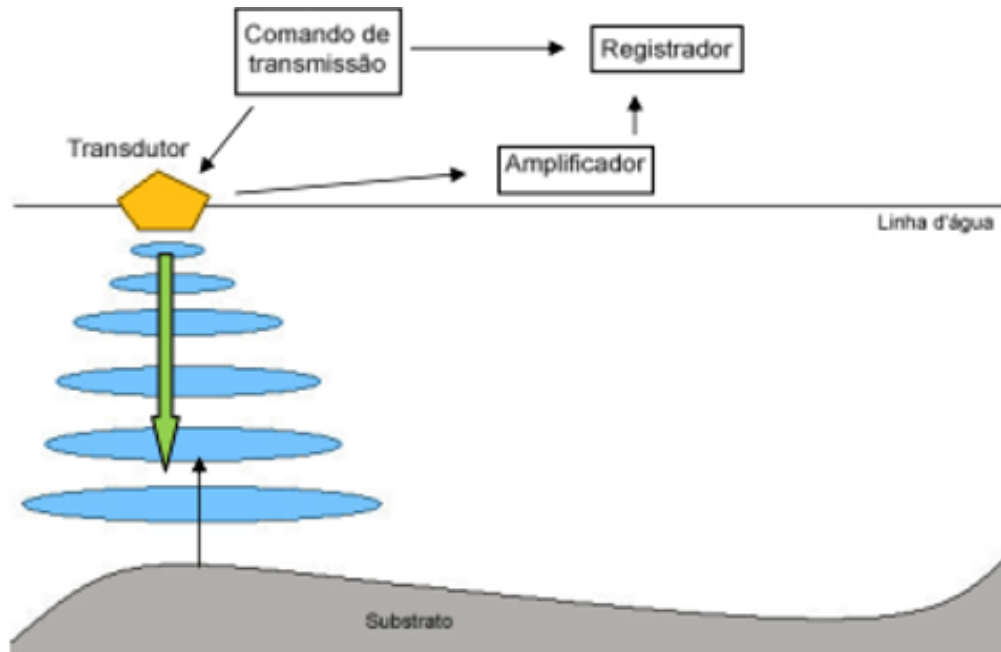
Os dados podem ser baixados do ecobatímetro para um computador no formato txt. (*Microsoft® Windows*) ou em planilha do excel (*Microsoft® Office*). Os arquivos que serão fornecidos (coordenadas) possuem formato XYZ, que contêm: leste, norte e profundidade. Estes dados serão padronizados de acordo com o sistema de projeção e coordenadas UTM, com seu fuso em 25L.

A medição de profundidade pode ser feita em monofeixe ou multifeixe utilizando um ecobatímetro, que calcula a diferença de tempo entre a emissão e a recepção do sinal acústico em uma determinada frequência, que foi refletida pelo fundo. O ecobatímetro usa um emissor de ultrassom com um cristal piezo-elétrico que, segundo Miguens (2005) é convertido de sinal elétrico para um sinal mecânico por um transdutor localizado no fundo da embarcação. Este sinal emitido percorre o meio em que está inserido, sofre absorção da coluna d'água e do substrato, é refletido, sofre novamente absorção da água e é captado pelo receptor, como é mostrado na Figura 16.

Esta medição se dá pela velocidade de propagação do sinal no meio aquoso e o tempo que o sinal emitido demora a chegar ao receptor, passando por sua reflexão no fundo. Mediante este tempo e a velocidade que o sinal possui no meio, é possível calcular a distância que um objeto se encontra através da Equação 6:

$$h = V_{\text{sinal na água}} * \frac{\Delta t}{2} \quad (6)$$

Figura 16 – Princípios básicos do ecobatímetro (modificado por Miguens, 2005)



Fonte: Miguens, 2005.

3.2.2 Organização e padronização

Dentro do formato XYZ, os dados terão como padrão coordenadas UTM com seu fuso de 25L. No ArcGis 10.1 na batimetria, as profundidades obtidas terão como parâmetro os dados originais e serão negativas em relação a estas. Adotamos a distância de 1km entre cada seção de interesse devido às variações de tempo-espaço.

3.2.3 Equipamentos

Para execução dos levantamentos batimétricos, serão utilizados os seguintes equipamentos:

- a) GPS Geodésico R4 RTK:
 - Receptor GNSS L1/L2 e L2C (GPS e GLONASS). Sistema de 220 canais com tecnologia de rastreamento de satélite *Trimble R-Track*;
 - Características do R4 RTK: Precisão de 3mm + 0.1ppm RMS na Horizontal e 3,5mm + 0,4ppm RMS na Vertical; 220 canais GNSS, memória Interna de 11 MB, resistente à prova d'água e poeira, categoria IP67.
- b) Sonar 1199ci HD SI

- Capacidade de profundidade Imagem Side®: 150 pés (46 m);
 - DualBeam PLUS™: 1500 pés (500 m);
 - Poder Saída: 500 Watts (RMS); 4000 Watts (pico-a-pico);
 - Frequência de operação Imagem Side®: 200 kHz e 83 kHz, 455 kHz, a 800 kHz;
 - DualBeam PLUS™ 60 ° -10 @ dB em 83 kHz e 20 ° @ -10 dB em 200 kHz;
 - Imagem Side®: 455 kHz: (2) 86 ° @ -10 dB (180 ° Cobertura total) 800 kHz: (2) 55 ° @ -10 dB (130 ° Cobertura total);
 - Alvo Separação: 2 1/2 polegadas (63,5 mm);
 - Poder Requerimento: 12-20 VDC;
 - LCD: 600 V 800 x H; 10.4” Diagonal a cores TFT;
 - Atual Desenhar: 1.4 Um;
 - transdutor: XHS 9 HDSI 180 T (inclui embutido sonda de temperatura);
 - Cabo transdutor comprimento: 20 pés (6m);
 - IPX RatingIP67: Waterproof / submersível @ 1m por 30 minutos e poeira apertado;
- c) Barco com motor de 1,5 cv;
- d) Vara de sondagem com comprimento de 4m.

3.3 Etapas de Campo

Esse momento serviu para planejar a monumentalização de marcos geodésicos que comporão a rede geodésica de monitoramento. Após a monumentalização dos marcos, dar-se-á início ao levantamento geodésico de campo por técnica GNSS de posicionamento relativo estático. Posteriormente, os dados serão processados e ajustados, serão gerados relatórios específicos e monografias dos marcos.

Na etapa seguinte, foi realizado o levantamento do entorno da laguna Mundaú, através do método RTK e a topobatimetria de sua área molhada será realizada com integração GNSS/ecobatímetro, utilizando como referência o apoio geodésico implantado. O levantamento GNSS determinará a altura elipsoidal da lâmina d'água nos pontos levantados, enquanto o ecobatímetro, a profundidade. Porém, para a representação da superfície, far-se-á necessária a

determinação da altura ortométrica. Esta última será calculada a partir da ondulação geoidal (N), que pode ser determinada por um modelo geoidal.

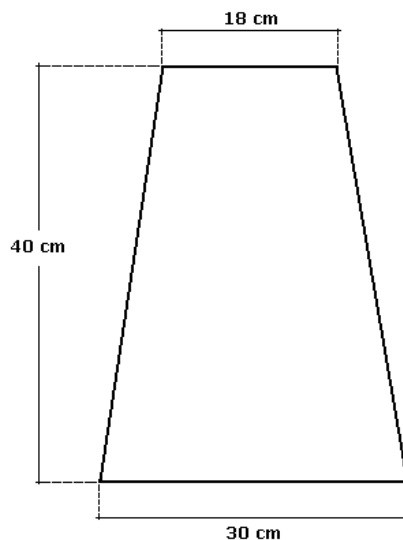
3.3.1 Monumentalização de marcos

Em laboratório, foram criadas as seções transversais e diagonal, por meio do *software Marine Navigator* e do *Google Earth*. Foi realizada uma visita de campo para a escolha de um local de implantação do marco topográfico de apoio para criação do perfil topobatimétrico que defina o relevo dos transectos de controle da superfície submersa da laguna. Em seguida, foi confeccionado o marco topográfico com base nas instruções do IBGE, disponíveis em “Padronização de Marcos Geodésicos” (2008), cujo o formato e as dimensões são os seguintes:

- Formato de tronco de pirâmide;
- Base quadrangular de 30 cm de lado;
- Topo quadrangular de 18 cm de lado;
- Altura de 40 cm.

A Figura 17 possibilita a visualização do perfil do marco, como vemos abaixo:

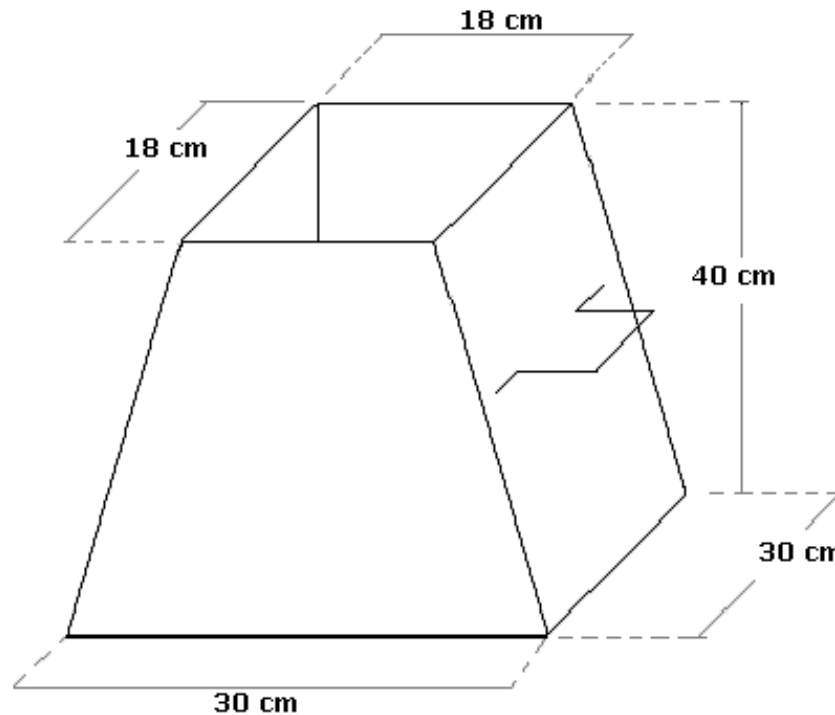
Figura 17 – Perfil do marco piramidal padrão IBGE – 2008



Fonte: IBGE, 2008.

Para a confecção deste tipo de marco, deve ser utilizada uma forma metálica dotada de alças laterais. A forma deve ter o mesmo formato e dimensões do marco, conforme indicado na Figura 18.

Figura 18 – Forma com os padrões utilizados para o marco piramidal – 2008



Fonte: IBGE, 2008.

Para a construção do marco, adotou-se:

- o traço da mistura proporcional 1x3x3 (cimento, areia e pedra);
- a utilização de pedra britada n.º 0 (zero) ou 1 (um), recomendável, sempre que possível;
- foi confeccionado, antecipadamente, utilizando-se a forma metálica/madeira com geometria piramidal;
- aplicado óleo queimado nas faces internas para facilitar a posterior retirada e o concreto deve ser vibrado com auxílio de vibrador portátil ou martelo de borracha;
- a chapa padrão IBGE foi fixada no centro do topo do marco, quando a massa adquiriu consistência suficiente; e
- as inscrições na chapa foram efetuadas antes de sua fixação no marco.

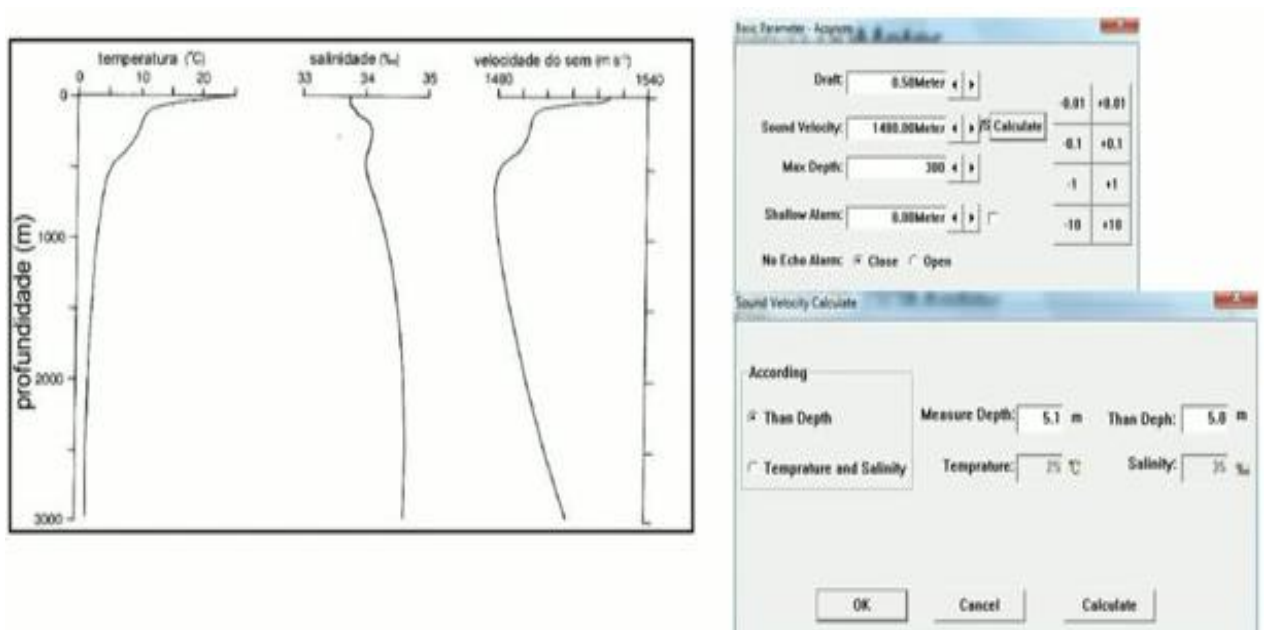
Para a implantação, foi necessário:

- abrir uma cava com 50 cm de lado até uma profundidade de 20 cm;
- reduzir a dimensão do lado da cava para 40 cm, acrescentando à profundidade inicial 80 cm;
- introduzir massa até uma altura que diste 7 cm da borda da cava; e
- assentar o marco e nivelá-lo, com auxílio do nível de pedreiro, e preencher o restante da cava com a massa da fundação.
-

3.3.2 Calibração do Sonar

A etapa inicial da mediação, como trabalho de campo, deu-se com a calibração prévia do instrumento (Sonar), em que a calibração consiste em utilizar uma chapa metálica circular de 30 a 40 mm de diâmetro, fixada a um cabo de aço/corda graduado/a, arriado/a abaixo do transdutor. A partir da verificação da profundidade submersa da placa, registra-se determinado comprimento da lâmina d'água, em seguida, compara-se esse resultado ao obtido pelo Sonar, caso haja incompatibilidade das cotas, altera-se a velocidade do som até que as profundidades verificadas no ecobatímetro e no/a cabo de aço/corda graduado/a sejam iguais. A calibração deve ser realizada, no mínimo, até 70% da profundidade máxima do local, conforme Figura 19 abaixo:

Figura 19 – Calibração do Sonar



Fonte: Autor, 2018.

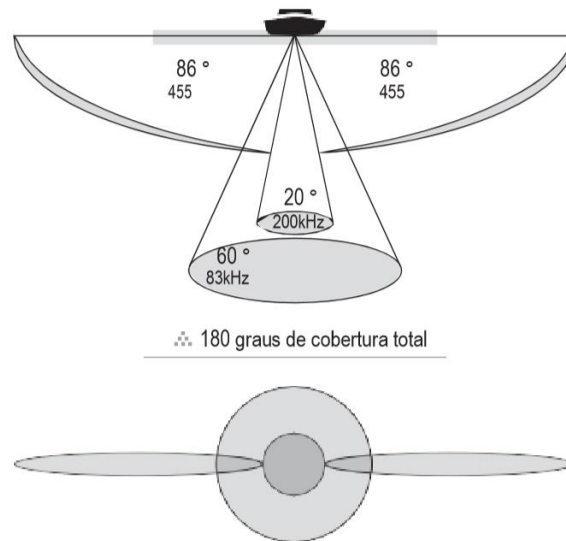
Durante a realização da primeira campanha foi constatado problemas de comunicação no equipamento (*GPS RTK South – Modelo G1*) entre a Base e o *Rouver* (GPS que ficará acoplado junto ao ecobatímetro na embarcação), tais falhas de comunicação foram resultantes da existência de obstáculos físicos (região com montanhas no entorno) que servem como verdadeiros barramentos que impedem um melhor alcance entre os satélites posicionados mais próximos da linha do horizonte (ao contrário, possibilitaria uma maior área de varredura do RTK), interferindo diretamente em termos de precisão dos trabalhos. A utilização de um rádio amplificador de frequência poderia solucionar o problema de comunicação, cujo objetivo seria ampliar o alcance do sinal de frequência transmitido entre o GPS-base com o GPS que ficará em movimento junto a embarcação. A integração entre os sistemas serve como suporte para subsidiar na aquisição dos dados batimétricos a serem trabalhados na dissertação.

As providências na busca por encontrar uma solução que pudesse corrigir essa problemática, levou-nos para várias tentativas frustradas de correção do problema, uma vez que não houve possibilidade de adquirirmos o rádio amplificador de frequência devido ao alto custo, e, por isso, foram feitos alguns testes em campo sem sucesso. Desse modo, surgiu a necessidade de tomarmos outras providências e utilizarmos outro equipamento (Sonar) para aquisição dos dados batimétricos, para a qual a primeira campanha ocorreu em 24 de agosto de 2018. Essas associações de fatores acarretaram atrasos e prejuízos ao planejamento e ao cronograma de execução de atividades.

O sonar *Imaging®* lateral pode pesquisar uma área que é de 480 pés de largura (240 para cada lado), com um desempenho típico de profundidade de 150 pés, quando o lado de frequência *Imaging®* sonda é ajustado para 455 kHz. As vigas laterais podem ser operadas a uma emissão de duas frequências: 455 kHz ou 800 kHz. A seleção de 800 kHz produz a imagem mais nítida, mas a área de pesquisa para cada lado e a capacidade de profundidade são limitadas em comparação com a frequência de 455 kHz. A Figura 20 abaixo ilustra os cones de frequência e os graus de cobertura²:

Figura 20 – Ilustração dos cones de frequência e os graus de cobertura do Sonar 1199ci HD SI

² Tradução feita pelo autor sobre o Manual de Instruções Humminbird, publicado em 2013.



Fonte: Manual de Instruções Humminbird, 2013.

O levantamento topográfico é imprescindível para o estudo de aproveitamento múltiplo de uma bacia hidrográfica, ou estudo em um simples curso d'água, tais como: projeto de uma ponte, estudo morfológico de um rio ou estuário, erosão ou assoreamento de um canal, porto ou barragem e análise de impacto no ambiental.

Os levantamentos acima da superfície d'água são executados pelos métodos da topografia convencional. Dá-se o nome de batimetria ao levantamento topográfico da faixa predominante de ocupação da laguna, ou seja, a topografia da parte molhada e uma faixa das margens, determinação da topografia do fundo de uma laguna abrangendo parte da área seca ao redor do reservatório com o objetivo de definir a curva cota x área x volume. Logo, pontos topográficos determinados a partir do Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, convenientemente distribuídos em sua implantação com a finalidade de amarração do terreno de um levantamento topográfico, e, por isto, devem ser materializados por piquetes, marcos de concreto, pinos metálicos ou tinta, na dependência do tempo desejado, de sua importância e da natureza do terreno.

Sendo essa uma região comum de ocorrer extravasamentos em períodos de cheia e de grande movimentação de pessoas e/ou barcos quando ficam ancorados à margem, torna-se mais prudente a instalação de referencial de nível na forma de estrutura física mais rígida como o marco topográfico para fins de prevenção do referencial de nível e da estabilidade, contra possíveis danos causados por impactos. Para tanto, o marco topográfico é implantado e materializado na superfície terrestre, de modo estável e com permanência adequada a sua finalidade, para o qual é determinado o valor da distância vertical a uma superfície de nível, por intermédio de nivelamento geométrico ou por métodos equivalentes.

Quando a superfície de referência for a superfície de nível zero (marégrafo de Imbituba) e o método de determinação da distância vertical a esta superfície tiver a exatidão exigida pelo SGB para implantação de suas referências de nível, posto que o ponto considerado se constitui numa referência de nível geodésica. Caso contrário, o ponto é considerado como uma referência de nível topográfica, mesmo estando referida à superfície de nível zero.

No caso de seções de lagoas, estuários e rios de grande porte poderão ser utilizados ecobatímetros de registro contínuo acoplados a GPS com correção online (RTK ou RACAL) com uma precisão melhor que 1m de posicionamento. O ecobatímetro deve ter registro contínuo de dados e desvio padrão de 0,5 % na medida da profundidade, instalado em embarcação de dimensões e velocidade adequadas às condições locais.

Outro tipo de equipamento capaz de fornecer agilidade e precisão aos levantamentos topobatimétricos são os sonares. O sonar envia um sinal de onda sonora e determina a distância pela medição do tempo entre a transmissão da onda sonora e quando a onda de som é refletida de um objeto; Em seguida, utiliza o sinal refletido para interpretar a localização, tamanho e composição de um objeto. Sonar é muito rápido. Uma onda de sonora pode viajar a partir da superfície a uma profundidade de 240 pés (70 m) e vice-versa, em menos do que 1/4 de um segundo.

Para tanto, nessa etapa da pesquisa, foi escolhido o local de implantação do marco topográfico de apoio para materialização da estação-base para a criação do perfil topobatimétrico que defina o relevo dos transectos de controle da superfície submersa da laguna, confeccionado e instalado o marco, conforme registro das figuras abaixo:

Figura 21 e 22 – Confeção do marco piramidal padrão IBGE – 2018



Fonte: Autor, 2018.

Figura 23 – Perfil do marco piramidal padrão IBGE – 2018



Fonte: Autor, 2018.

Figuras 24 e 25 – Local para materialização da estação-base através do marco topográfico – 2018



Fonte: Autor, 2018.

Figura 26 – Assentamento do marco no local para materialização da estação-base – 2018



Fonte: Autor, 2018.

Figura 27 – Preenchimento do restante da cava com a massa da fundação



Fonte: Autor, 2018.

3.3.3 Coordenadas dos marcos de apoio e de referência de nível

A Tabela 2 mostra as coordenadas UTM (Projeção Universal Transversal de Mercator) fixas nos marcos do IBGE para auxiliar ao transporte de coordenadas para o marco CTEC, instalado exclusivamente para execução deste trabalho.

Tabela 3 – Coordenadas planimétricas 2437M, 2437N e CTEC

| Marco | E (m) | Desvio Padrão (m) (Nível de Confiança de 95%) | N (m) | Desvio Padrão (m) (Nível de Confiança de 95%) | Altitude (m) |
|-------------------|--------------|--|--------------|--|---------------------|
| IBGE 2437M | 192988 | 0 | 8933319 | 0 | 2,6257 |
| IBGE 2437N | 193385 | 0 | 8933291 | 0 | 31,3908 |
| CTEC | 193675 | 0,002 | 8933418 | 0,002 | 2,8446 |

Fonte: Autor, 2018.

3.3.3.1 Levantamento topográfico planimétrico

A tabela 3 mostra os erros cometidos no levantamento topográfico planialtimétrico.

Tabela 4 – Erros cometidos no levantamento topográfico planialtimétrico

| ERRO | | | |
|----------------|---------|-------------|-----------------|
| Angular | Linear | Altimétrico | Relativo linear |
| 14" | 4,87 mm | 63 mm | 1/65379 |

Fonte: Autor, 2018.

Através do levantamento topográfico planimétrico gerou-se uma Referência de Nível (RN), com o objetivo de obter um plano de referência para os dados topobatimétricos obtidos nas seções fluviométricas que tinham sido selecionadas. Portanto, os dados topográficos, bem como os dados topobatimétricos foram obtidos, adotando-se a projeção cartográfica UTM, referenciada ao sistema geodésico (SIRGAS, 2000).

Durante o levantamento das seções batimétricas não foi possível percorrer todas seções escolhidas, principalmente aquelas mais próximas do trecho norte (próximo a cidade de Pilar) e do trecho sul para sudeste da laguna, ambos devido aos riscos de o barco ficar encalhado, pois em razão do acúmulo de sedimentos vários trechos tornaram-se inviáveis à realização do trabalho com a técnica disponível.

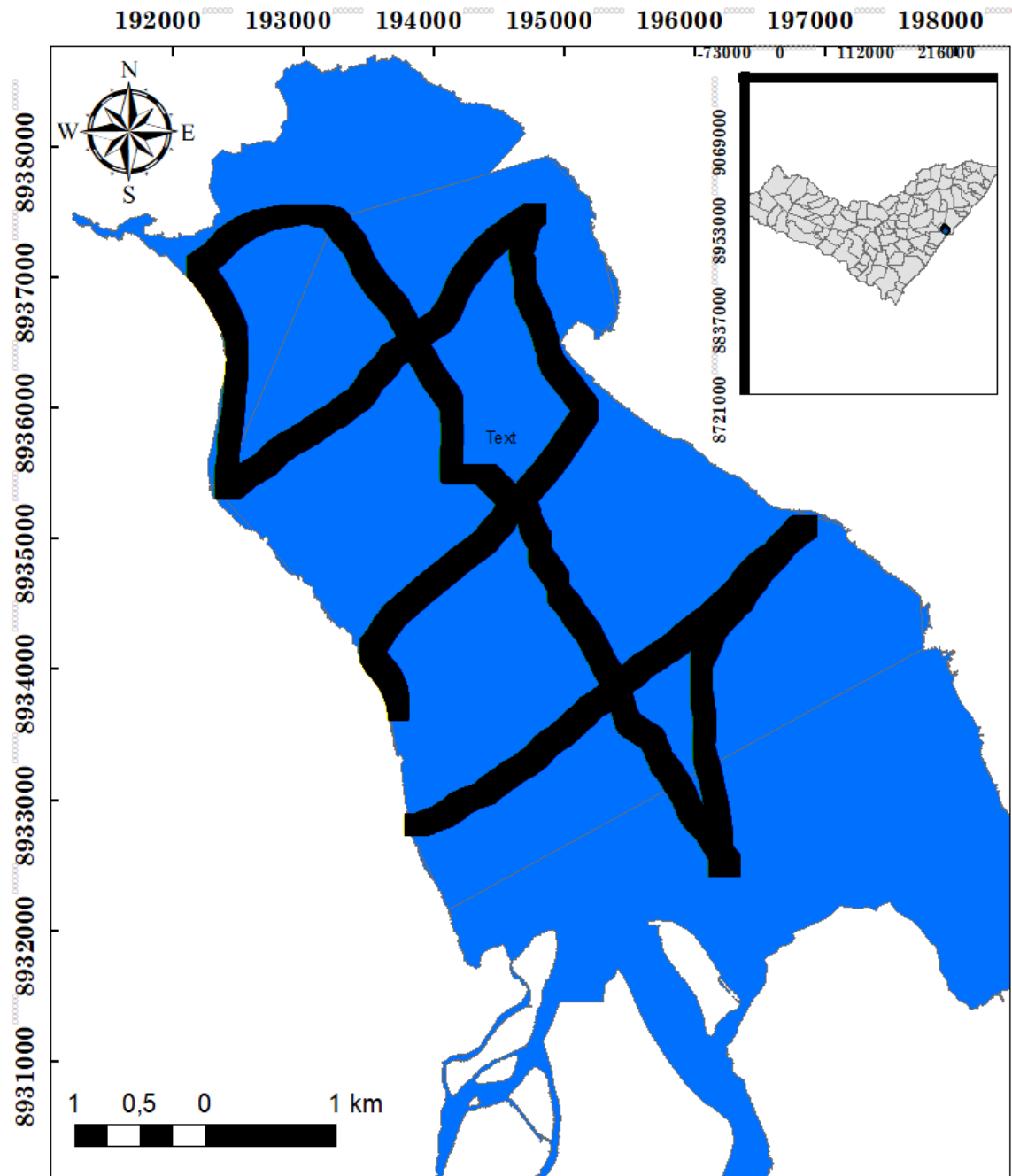
3.3.4 Execução do levantamento topobatimétrico

A primeira decisão de projeto, para a execução do Mapeamento Batimétrico da Laguna Mundaú, foi determinar a técnica que seria aplicada na execução dessa atividade. Apesar da definição de batimetria restringir-se exclusivamente na obtenção de medidas de profundidades em corpos d'água, é patente que uma profundidade mensurada esteja necessariamente associada a uma coordenada geodésica, ou seja, a um lugar no espaço. Portanto, um levantamento batimétrico é completamente tridimensional, ao contrário do que se possa deduzir a partir da definição apresentada. Assim, em função dos equipamentos disponíveis para a consecução dessa atividade foi formatada a metodologia a ser aplicada em campo. Essa, por sua vez, constitui-se de um sistema integrado cujo posicionamento planimétrico foi realizado empregando-se a técnica RTK, as profundidades mensuradas via ecobatímetro digital e a junção desses efetuada com a aplicação do programa Hypack 2011.



Na Figura 28 temos 5 seções transversais e uma seção diagonal que foram criadas no escritório. As medições ocorreram no período de estiagem (cotas mais baixas), onde os trechos mais assoreados ficam mais expostos e dificultam a passagem de embarcações, motivo pelo qual impediu que fossem executados os levantamentos nas seções transversais mais extremas (próximo a foz e próximo ao oceano). Sendo assim, foi possível realizar, com segurança, o levantamento batimétrico na seção central (próximo ao marco topográfico) e nas duas seções adjacentes, totalizando três seções transversais levantadas e mais seção diagonal. A implantação das EF's (estações fluviométricas) segue os critérios de instalação de um posto fluviométrico, que pode ser chamado de "fluvisedimentométrico", devendo constar de lances de régua ou linígrafo (opcional), referências de nível, seção de medição e controle. A escolha da seção central (próximo ao marco topográfico) como a seção a ser estudada nesta pesquisa, se deu levando em consideração a proximidade com um linígrafo, instalado pela SEMARH/AL, como fator preponderante, bem como, por se tratar de trecho reto da laguna, com margens altas e declividades moderadas, leito firme e uniforme, onde os filetes sejam paralelos às margens, devendo a calha conter toda a variação de vazão, sem transbordamentos. Havendo uma uniformidade no escoamento e na distribuição de velocidades na seção transversal, caso fosse necessário a realização de amostragem do sedimento, todos esses critérios propiciariam boas condições.

Figura 28 – Seções transversais

Percurso realizado durante a batimetria na Laguna Mundaú



Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 24 S
Projeção: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Meridiano Central: -39

 Laguna Mundaú
 Batimetria

Fonte: autor, 2019.

Foram realizados levantamentos de campo para coleta de informações batimétricas (observação das cotas limnimétricas e sua amarração altimétrica a RNs conhecidos e instalado, sondagens com Sonar e demais equipamentos de apoio), envolvendo profissionais do IMA, inicialmente no apoio com as embarcações e até do batalhão ambiental da PM, porém por questões de logística foi contratada uma embarcação. Os levantamentos ocorreram em duas campanhas, o primeiro 08/08/2018 e 20/11/2018. Após a coleta das informações batimétricas em campo, iniciou o procedimento de processamento dos dados para correção dos níveis de maré e análise de consistência e filtragem dos mesmos. Nas figuras de 29 a 31 consta os registros das duas campanhas em 2018, bem como dos equipamentos e da tripulação que realizou a tarefa.

Figura 29 – Margem direita, localização da seção principal e do marco topográfico – 2018



Fonte: Autor, 2018.

Figura 30 – Etapa de campo (seção 1): uso do ecobatímetro e do GPS RTK – 2018



Fonte: Autor, 2018.

Figura 31 – Etapa de campo (seção diagonal): uso do ecobatímetro e do GPS RTK – 2018



Fonte: Autor, 2018.

3.3.5 Processamento dos Dados e Geração dos Arquivos Finais

Essa etapa consiste fundamentalmente da correção dos dados brutos, coletados em campo, ou seja, faz-se a correção de maré oriunda da flutuação do nível d'água no período de execução do levantamento batimétrico, bem como a eliminação de dados espúrios que

aparecesse eventualmente nos arquivos coletados e a geração dos arquivos finais. Salienta-se que os dados são eliminados apenas quando os perfis batimétricos mostram realmente que aquele comportamento não se processa na realidade. A etapa de processamento dos dados efetuada no módulo Single Beam Editor do programa Hypack 2011

Após a coleta das informações batimétricas em campo, no escritório seguiu-se com a correção do efeito de maré, foram analisados registros de um linígrafo instalado, operado pela SEMARH-AL, na cidade de Coqueiro Seco, próximo a seção de medição. Assim como também foram corrigidas as cotas em relação aos Marcos topográficos do IBGE e CTEC.

Após a eliminação dos dados espúrios, foi realizada a consistência dos dados das linhas de sondagem transversais e longitudinais especificamente no cruzamento dessas. Não foi observada a ocorrência de variações abruptas de profundidade ao longo dos cruzamentos existentes, o que nos permite afirmar que os erros decorrentes da intercessão de dados inconsistentes de maré ou de velocidade do som na água não foram cometidos.

Por fim todos os arquivos foram carregados no programa computacional ArcGis 10.0, sendo efetuados a posteriori as devidas reduções das profundidades mensuradas para referência altimétrica do IBGE e da DHN. Os dados de profundidade provenientes do levantamento topobatimétrico foram utilizados para geração do MDP da área em estudo, conforme Figura 32 e mapa de levantamento batimétrico elaborado nesta pesquisa (APÊNDICE A).

3.3.6 Método batimétrico

O método batimétrico envolve a coleta de sondagens a intervalos regulares em todos os meses da pesquisa. As sondagens (medidas de profundidade) foram realizadas ao longo do estuário. As seções transversais serão feitas considerando-se temporárias pontos de referência nos dois lados do estuário, como diques, polos elétricos, árvores, etc. As sondagens foram realizadas em dez-2012, ago-2018 e nov-2018, com a ajuda de sondas de profundidade (SONAR), fita e GPS para determinar os locais de som. Com base na diferença de medidas entre os perfis da seção transversal, a deposição de sedimentos e a extração foram quantificadas. Tanto o método empírico/*desktop* quanto as medições de campo – métodos das sondagens foram comparados para determinar a prática mais adequada para a análise da p dos sedimentos.

Para a representação da superfície, será necessário a interpolação dos pontos levantados. Esta interpolação gerará um MDT do qual serão extraídas as isolinhas, que serviram de início para o controle temporal da superfície lagunar.

Após a modelagem da superfície, foram determinados transectos batimétricos, a fim de servir de referência para o monitoramento. Os pontos de monitoramento definidores dos transectos batimétricos compõe a rede de apoio geodésico, estes foram implantados em locais de fácil acesso para possibilitar a identificação de mudanças temporais. Por fim, obter-se-á a caracterização da superfície submersa e a implantação de estruturas geodésicas para o controle e monitoramento, que foi o objeto principal deste trabalho.

Foi como resultado a implantação efetiva de uma estrutura geodésica de referência, bem como um modelo topobatimétrico e definição do transecto batimétrico, que serviu para monitoramento da laguna Mundaú. Desta forma, houve, então, a possibilidade de realizar levantamentos para definição de séries históricas da geomorfologia da área de estudo, contribuindo para análise da ocupação do entorno, do avanço do assoreamento da área, do planejamento de intervenções ambientais, entre outros.

Afora este tratamento metodológico dado, norteará esta pesquisa uma abordagem fundamentada no aporte de sedimentos, a partir de levantamentos bibliográfico e documental, além de pesquisa de campo para levantamento batimétrico, através do uso de equipamentos como ecobatímetro, RTK e transdutor, os quais auxiliarão no processo de estimativa da taxa de assoreamento do complexo lagunar Mundaú-AL.

3.3.7. Processamento dos dados

Os dados batimétricos e de posição planimétrica são integrados à sincronização do tempo e vinculado ao GNSS. Em seguida, será o tempo de observação entre a latência dos dados II e a transmissão de correções da estação base e a base móvel. Utilizaremos o *Hypack* nos pré-processamentos e no processamento final para correção dos erros de batimetria e posicionamento e dos *offsets* verticais e de latência. As linhas isobatimétricas foram geradas no software ArcGIS 9.3.1, aplicando-se às profundidades de sondagem obtidas a interpolação pelo método de krigagem. Nessa etapa foram realizados testes dentre diversos métodos empregados em interpolação de dados de sondagens batimétricas e a análise geoestatística por krigagem ordinária foi a que apresentou os melhores resultados na forma de representação para a distribuição dos dados da amostra, portanto, o método selecionado. As linhas isobatimétricas representadas foram as relativas às cotas, em metros: +0,5 (cota acima do NR da DHN para o Porto de Maceió); 0; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0 e; 7,5. Essas linhas isobatimétricas foram selecionadas visando auxiliar prioritariamente a representação da morfologia observável no estuário lagunar

Mundaú, cujas cotas são inferiores a 3,0 metros e que apresenta gradientes de profundidade mais suaves

3.3.7.1 Cálculo dos volumes

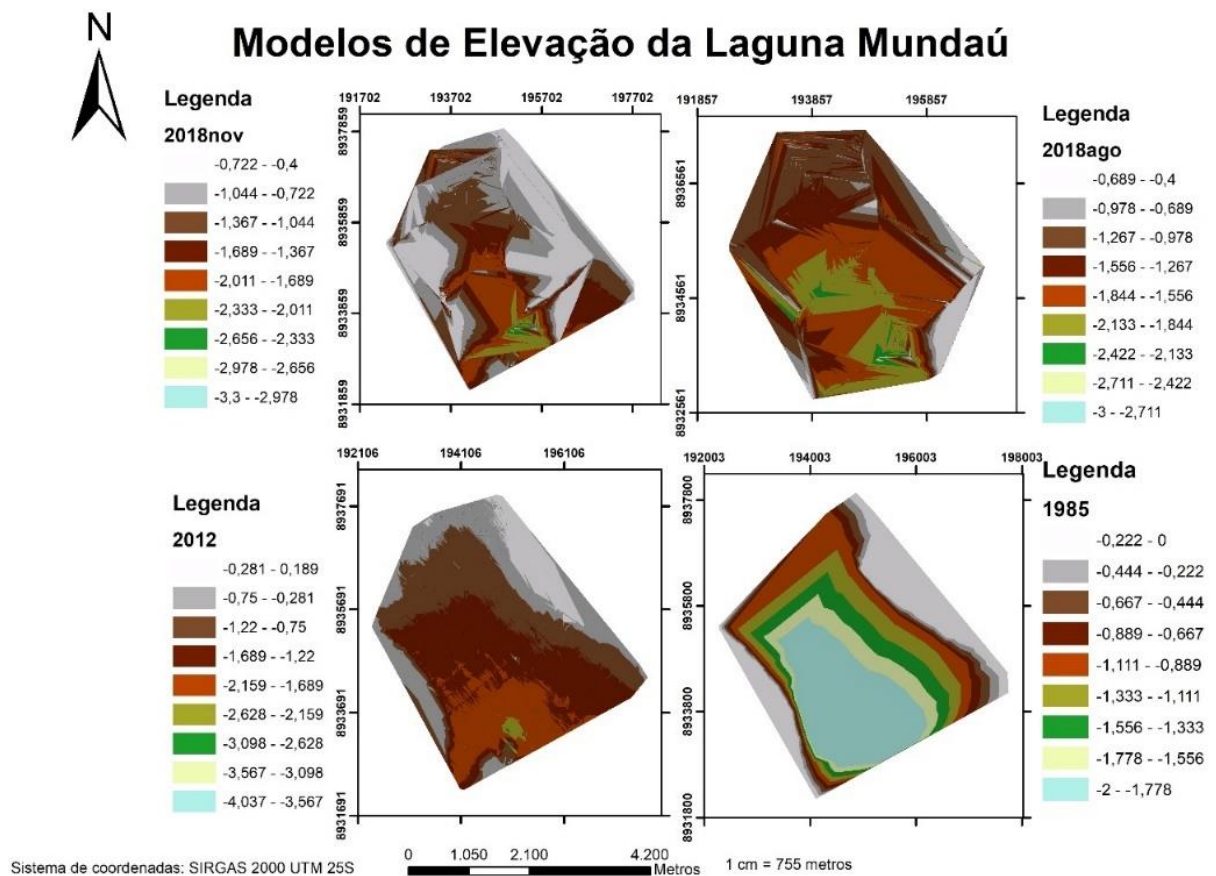
O volume poderá ser obtido através do ArcGis10.1, fazendo uso de uma ferramenta chamada *Surface Difference* da extensão *3D Analyst*, a qual calcula o volume acima ou abaixo de um plano de referência. No caso desta proposta, foi definido como a batimetria acima de um plano de referência, podendo estabelecer quais áreas possuem deposição de sedimentos ou possuem erosão e quais não houve alteração de sua profundidade.

4 RESULTADOS

Nesta seção, será apresentado os resultados da produção de sedimentos com base em métodos empíricos, bem como a produção de sedimentos seguindo a utilização da técnica da sondagem topobatimétrica e a quantificação da camada de sedimentação anual.

A partir dos resultados do processamento dos dados batimétricos, foi elaborado os mapas batimétricos de representação das profundidades do sistema estuarino lagunar mundaú utilizando o software ArcGIS 10.1, em escala 1:75.500, incluindo a localização das linhas de sondagem executadas e as linhas isobatimétricas geradas por modelo de interpolação. Onde é possível observar algumas mudanças na morfologia do leito da laguna Mundaú.

Figura 32 – Representação do Modelo de Elevação da Laguna Mundaú Batimetria 1985, 2012, ago-18, nov-18



Fonte: Autor, 2019.

4.1 Quantificação da produção de sedimentos por métodos empíricos

A produção de sedimentos lagunares tem sua origem de várias fontes, ou seja, podendo vir de locais distantes, como da erosão na bacia de recepção, proporcionando grande quantidade de sedimentos fluviais para laguna, das praias, do mar, das barreiras ou da própria produção interna da laguna (produção de organismos/reações químicas). Sendo assim, as variáveis de entradas das equações empíricas usadas para a quantificação da produção de sedimentos estão baseadas nas fontes de geração de sedimentos na bacia ou em parâmetros hidrológicos.

As técnicas de Khosla, Garde e Kothiyari e Lacey-Inglis tentaram quantificar a produção de sedimentos no estuário lagunar. Método de Khosla: O primeiro método de Khosla quantifica a produção de sedimentos na bacia com base no tamanho da bacia. A avaliação da produção de sedimentos no nível da sub-captção no estuário lagunar do mundaú, mostra uma produção anual de 1287 Kilo m³ por ano. A desvantagem desse método é que a produção de sedimentos pode ser superestimada ou subestimada, visto que o método não considera outros fatores além do tamanho da bacia. Na Figura 33, temos alguns dos parâmetros que serão utilizados nas equações para estimar a produção de sedimentos. A partir do detalhamento Hidromorfológico da bacia do Rio Mundaú observou-se elementos físicos ligados à hidrografia da bacia que interferem na sua dinâmica.

Figura 33 – Sumário das análises hidromorfológicas da bacia do Rio Mundaú

| Hidromorfologia da bacia do Rio Mundaú | Valores Obtidos |
|--|---|
| Ordem dos canais na bacia | Tabela 1 |
| Relação bifurcação (média) | 4,21 |
| Índice de sinuosidade (muito sinuoso) | 81,46% |
| Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem | Tabela 2 |
| Comprimento do canal principal | 158,27 km |
| Equivalente vetorial | 113,24 km |
| Gradiente do canal principal | 861 m |
| Área da bacia | 4457,87 km ² |
| Perímetro | 382,68 km |
| Relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia | 0,04 (km.(km ²) ⁻¹) |
| Forma da bacia | Triangular: 0,70 |
| Densidade de rios | 0,03 (nº de rios.km ⁻²) |
| Comprimento total dos canais | 1029,16 km |
| Densidade de drenagem | 0,23 (km.(km ²) ⁻¹) |
| Coefficiente de manutenção | 4331,56 (m ² .m ⁻¹) |
| Coefficiente de massividade | 1,19.10 ⁻⁴ m ⁻¹ |
| Coefficiente Orográfico | 0,06 |
| Amplitude altimétrica | 1018 m |
| Relação de relevo | 0,48 m ⁻¹ |
| Índice de rugosidade | 4,43 |

Fonte: Marcuzzo, 2011.

Garde e Kothyari: este método, em comparação com o método de Khosla, considera as variações na paisagem, topografia, condições de precipitação na captação. A avaliação, a produção de sedimento através deste método mostra uma produção anual de 1461 Kilo m³ por ano. A presença de manchas de floresta perene espessa no Ghats mantém o solo estabilizado, enquanto erosões de grande escala foram observadas nas bacias hidrográficas com paisagem degradada.

Tabela 5 – Produção de sedimentos pelos métodos I e II

| Método | Produção de Sedimentos (10 ⁶ m ³ /ano) |
|-------------------------|--|
| Khosla | 1,29 |
| Garde e Kothyari | 1,46 |

Fonte: Autor, 2018.

O método de Lacey-Inglis utiliza as observações de descarga para a quantificação da produção de sedimentos. Com base nas medições de descarga realizadas no período da quadra chuvosa na bacia do rio mundaú, entre mai-jul de 2012 e entre mai-jul de 2018. Por se tratar de medições batimétricas realizadas de 04/12/12 até 18/12/12; 08/08/18 e 20/11/2018, utilizou-se tanto para 2012 quanto para 2018, dados de descarga dos doze meses para quantificar a camada de material sedimentado na laguna. As deposições de sedimentos foram quantificadas e estão listadas nas Tabelas 6 e 7. Cerca de 9,7 cm de depósito de sedimento foram estimados em 2012, no qual, como no ano 2018, o acréscimo da precipitação e, conseqüentemente, das descargas (somatório das descargas em 2012 igual a 130 m³/s e 510 m³/s em 2018) levou ao aumento das deposições de sedimentos (cerca de 14,0 cm), mostrando coerência entre o ano em que observou maior vazão, foi também o que apresentou uma maior lâmina de deposição.

Tabela 6 – Profundidade de sedimentação em 2012

| Mês | Vazão (m ³ /s) | Profundidade de Sedimento (cm) |
|---------------|---------------------------|--------------------------------|
| mai-12 | 21,57 | 2,6 |
| jun-12 | 50,813 | 3,5 |
| jul-12 | 58,042 | 3,6 |
| | Total | 9,7 |

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 7 – Profundidade de sedimentação em 2018

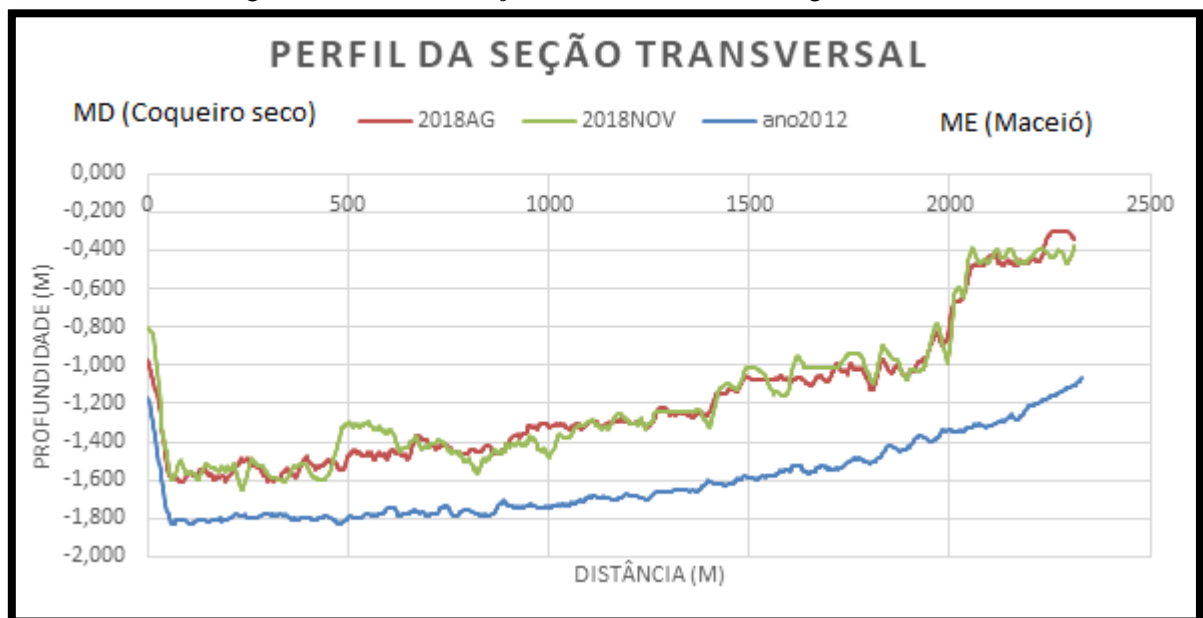
| Mês | Vazão (m ³ /s) | Profundidade de Sedimento (cm) |
|--------|---------------------------|--------------------------------|
| mai-18 | 395,33 | 6,9 |
| jun-18 | 32,118 | 3,0 |
| jul-18 | 82,772 | 4,1 |
| | Total | 14,0 |

Fonte: Autor, 2018.

4.2 Quantificação da produção de sedimentos com base em medições batimétricas

A dinâmica sedimentar na laguna ao longo dos períodos entre cada campanha de medição topobatimétrica, resultou em diversas configurações de relevo do leito para a mesma seção transversal, como é possível observar na Figura 34, em que os diferentes contornos nas curvas dos perfis são resultantes de processos de degradação ou agração.

Figura 34 – Perfil da seção transversal em 2012, ago-18 e nov-18



Fonte: Autor, 2018.

As áreas entre as curvas batimétricas foram calculadas, permitindo-se a determinação do volume unitário armazenado, conforme tabela abaixo. Sendo assim, o cálculo do volume acima ou abaixo de um plano de referência, definido neste trabalho como a batimetria anterior, pode estabelecer quais áreas possuem deposição de sedimentos, que possuem erosão/deposição e quais não possuem alteração de sua profundidade.

Tabela 8 – Quantificação da produção de sedimentos

| Batimetria | Seção Área Molhada (m ²) | Seção Depositada (m ²) | Comprimento da Seção (m) | Profundidade Média (m) | Volume Útil Unitário na Seção (m ³) | Assoreamento (Toneladas) |
|-----------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|---|--------------------------|
| Dez-2012 | 3754,10 | - | 2436 | 1,58 | 3754,10 | - |
| Ago-2018 | 2753,82 | 1000,28 | 2310 | 1,192 | 2753,82 | 1710 |
| Nov-2018 | 2728,99 | 1025,11 | 2310 | 1,181 | 2728,99 | 42/1753 |

Fonte: Autor, 2018.

O tempo decorrido entre a campanha de 2012 (18/12/2012) executada pela ANA e a primeira campanha de 2018 (08/08/2018) foi de 5,64 anos (2059 dias), em que a redução da área molhada se dá em função do assoreamento ocorrido nesse período, capaz de reduzir a seção transversal em aproximadamente 26 %. Entre a batimetria de 2012 e a batimetria de ago-2018, ocorreram vários períodos chuvosos e de estiagem, porém, considerando apenas o período de estiagem de 08/08/2018 até 20/11/2018, equivalente a 104 dias, mostrou que a redução na área molhada foi de apenas 0,66 %, em termos proporcionais causaria uma redução de aproximadamente 14 % da área molhada para um período equivalente 5,64 anos, ou seja, praticamente a metade do valor encontrado para primeiro período, mostrando uma variação de resultados com diferentes padrões de comportamento.

Uma profundidade média de deposição de cerca de 0,399 m (diferença entre os $H_{\text{médios}}$), para um $\Delta t = 2177$ dias (período entre dez-2012 até nov-2018), equivalente a 8 cm/ano, foi observada na seção transversal estudada, ao longo do estuário lagunar cerca de 1.821 quilos de depósitos de sedimentos foram estimados no ano de 2018, conforme os cálculos abaixo:.

Cálculo da Massa Anual Depositada

$$V_{\text{anual}} = A_{\text{bacia}}(m^2) \times h_{\text{ano}}$$

$$\text{densidade } (d) = 1036,8704 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{\text{anual}} = 27 \times 10^6 m^2 \times \frac{0,399 \text{ m}}{2177 \text{ dias}} 365 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} = 1,821 \times 10^6 \frac{m^3}{\text{ano}}$$

$$m = 1821 \times 10^3 \frac{\text{toneladas}}{\text{ano}}$$

Em ambos os perfis dos diferentes anos, nota-se que há uma tendência de comportamento de pontos com cotas mais rasas do meio da seção transversal para a margem esquerda (Maceió/AL), conforme Figura 34, que é justamente o lado onde existem um maior

número de edificações. Nas margens do Dique-Estrada, Bom Parto, Mutange e parte de Bebedouro já começou o processo de transformação da lagoa em pântano. Uma profunda camada de lama impede que a água chegue a locais antes alcançados. Um trecho bastante crítico nesta região fica no riacho do Silva, um canalizador de sedimentos para a lagoa. Está numa escala bem menor que o Rio Mundaú, mas “ajuda” a aterrar a lagoa. A Bacia Hidrográfica do riacho do Silva constitui um afluente da margem esquerda da laguna Mundaú, tendo o seu território totalmente situado na área urbana da cidade, fato que contribui para o carreamento de resíduos sólidos para a laguna.

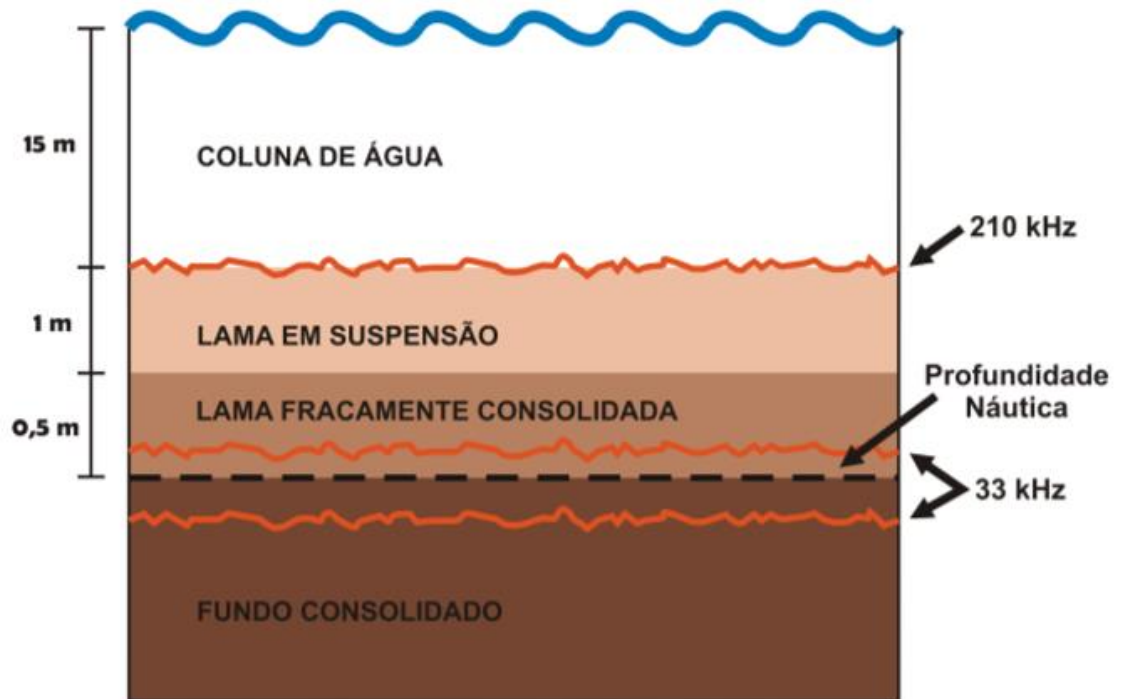
5 DISCUSSÃO

A avaliação comparativa de métodos empíricos e medidas batimétricas baseadas em campo mostram que os métodos de quantificação de sedimentos de Khosla subestimam a produção de sedimentos (1.287 quilos), enquanto estimativas de Garde-Kothyari (1.460 quilos) são comparáveis às observadas (1.821 quilos). O método Lacey-Inglis também mostra resultados relativamente próximos, ou seja, estima-se o depósito de 14,0 cm (2018) e 9,7 cm (2012) contra 8 cm observado anualmente no período entre 2012 a 2018. Neste caso, a equação determina a faixa de granulometria entre as frações areia fina até areia média (0,15 mm até 0,43 mm), porém o estuário lagunar encontra-se inserido na região da baixa bacia, ou seja, local característico com escoamento com baixa energia e que favorece ao carreamento de sólidos mais finos, na fração silte ou argila, porém esses têm a fração granulométrica inferior ao limite estabelecido pela equação, uma vez que demonstra que a equação poderá ser utilizada nos trechos da bacia correspondente aos limites das frações granulométricas, podendo resultar em respostas ainda mais aproximadas daquelas obtidas por batimetrias.

O pesquisador Ramachandra (2017) utilizou os métodos empíricos para compará-los com resultados obtidos através de sondagens que foram realizadas no rio Aghanshini, localizado na costa Oeste da Índia. E obteve os seguintes resultados: A produção de sedimentos (equação de Khosla e o método de Garde e Kothyari, respectivamente) de 1105 a 1367 quilos por ano e uma lâmina de deposição média (Fórmulas Lacey-Inglis) que varia de 61 a 71 cm / ano. Isso destaca que os métodos de estimativa de Khosla e Garde-Kothyari são apropriados e comparáveis.

A depender do equipamento utilizado é possível investigar a espessura das camadas de lama próximas ao leito sobre o escoamento do sistema estuarino lagunar, acima da camada consolidada, existe uma camada de lama fracamente consolidada e lama em suspensão composta, predominantemente, por frações granulométricas, tais como: silte, argila, material complexo, sedimentos de variadas composições minerais, misturados com resíduos orgânicos, a detecção de depósitos lamosos em registros acústicos é mostrado na Figura 35. A resposta acústica depende da frequência utilizada e de outras características do depósito como a densidade e a fração granulométrica. O leito dos estuários concentram teores de sedimentos finos, formam-se bolsões de lama que a depender do tipo do equipamento e da frequência utilizada acabam não sendo percebidos na sondagem, porém são passíveis de navegar quando estão no estado fluido, cuja densidade se encontra entre 1.050 e 1.300 kg/m³ (WELLS; COLEMAN, 1981).

Figura 35 – Representação esquemática do perfil do canal do porto com 15 metros de profundidade com suas camadas de lama e o fundo de acordo com a classificação de Manning et al. (2010)



Fonte: Pianc, 1997.

O estudo do transporte da carga em suspensão é de maior complexidade, porém amostragens da carga em suspensão são mais frequentes que coletas dos materiais do fundo devido à facilidade de determinação da carga sólida associada ao fato desta representar, na maioria dos casos, a maior parte da descarga sólida total. A descarga em suspensão pode corresponder, em média, entre 70 a 95% da descarga sólida total, sendo isso função da posição da seção transversal no curso d'água e outros fatores (CARVALHO et al., 2000a), sendo assim, por não serem detectados nas sondagens, em alguns casos, a camada de lama não é quantificada e, por consequência, resultam em valores subestimados da quantificação do assoreamento.

Abaixo são apresentados valores de frequências e a relação de sensibilidade com as frações granulométricas detectáveis. Um cálculo de estimativa do diâmetro de partícula que poderia ser melhor detectável dentro da sensibilidade máxima do sonar de varredura utilizado neste trabalho, também é apresentado abaixo. O número de ondas (k) que o sonar emite é inversamente proporcional ao diâmetro das partículas, enquanto o comprimento de onda (λ) é inversamente proporcional à frequência e ao número de onda, ou seja, à medida que o diâmetro diminui a frequência aumenta conforme a Tabela 8. A relação entre a intensidade do eco e a

concentração de sedimentos em suspensão dependente do tamanho das partículas. Por esse motivo, a correlação entre a intensidade do eco e a concentração de sedimentos em suspensão deve ser calibrada com medições de concentração de sedimentos feitas por outro equipamento (amostrador mecânico ou óptico) – Gordon (1996).

Tabela 9 – Tamanho de partícula em que ocorre o pico de sensibilidade para as frequências comuns de trabalho dos equipamentos de mono frequência convencionais.

| Frequência (MHz) | Diâmetro da partícula para $K^*a = 1$ |
|------------------|---------------------------------------|
| 10 | 50 μm |
| 3 | 160 μm |
| 1,5 | 320 μm |
| 0,5 | 960 μm |
| | Total |

Fonte: NORTEK, 2001.

Com base nas equações, para um Sonar com frequência de 83 kHz, a menor partícula em suspensão (lama não fracamente consolidada) que o equipamento é capaz de detectar equivale a 5,8 mm.

Encontrando o diâmetro da partícula, para $f = 83 \text{ kHz}$

$$v = 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ (Vel. do som na água)}$$

$$f = 83 \text{ KHz (Frequência do Sonar)} = 83 \times 10^3 \text{ cps}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{83 \times 10^3} = 0,0181 \text{ m}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{0,0181}$$

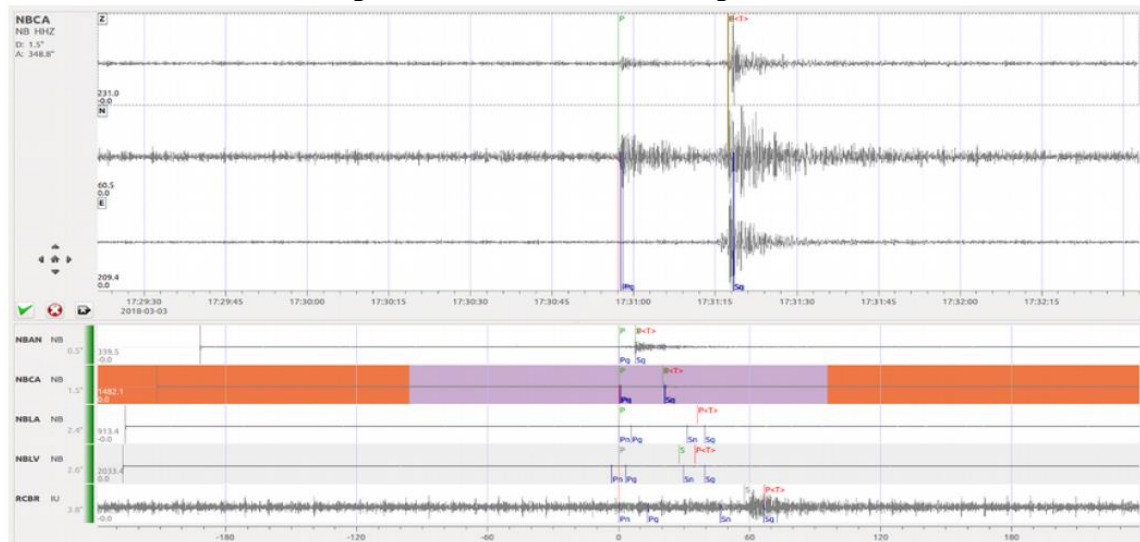
$$k \times \frac{D}{2} = 1,0$$

$$D = \frac{0,0181}{\pi} = 0,0058 \text{ m} = 5,8 \text{ mm (Areia Grossa)}$$

A morfologia fluvial vem sendo desenvolvida pela alteração contínua (repetitiva) no nível do leito (elevação – deposição e rebaixamento – erosão fluvial), geralmente, mudanças morfológicas acentuadas estão associadas a grandes eventos chuvosos (enxurradas catastróficas) que ocorrem uma vez a cada 10 ou 100 anos, aumentando sobremaneira a intensidade dos processos de erosão, transporte e deposição dos sedimentos, a exemplo das chuvas do mês de maio de 2017, causando vários deslizamentos de terra e quedas de árvores, a Defesa Civil informou que o volume de chuva durante alguns dias foi acima da média do que

era esperado, ou seja, o esperado era de 382,2 milímetros, até 27/05/2017 já eram registrados 567,6. Este número é 48,5% maior do que o esperado. Além disso, no dia 03/03/2018, às 17:30:32 (Hora Universal, = 14h 30min 32s Hora Local) ocorreu um tremor de terra em Maceió, teve magnitude considerada pequena, apenas 2.4 na escala Richter. Foi registrado por estações da Rede Sismográfica Brasileira (RSBR), operadas pela UFRN, até 650 km de distância. Com base nas estações mais próximas (de 70 a 280km), o epicentro foi determinado na área da cidade de Maceió, mas não há precisão para saber em que bairro exatamente. Com estações a mais de 70 km a margem de erro do epicentro é perto de 5 ou 10 km. Abaixo a Figura 36 divulgada do registro sísmico.

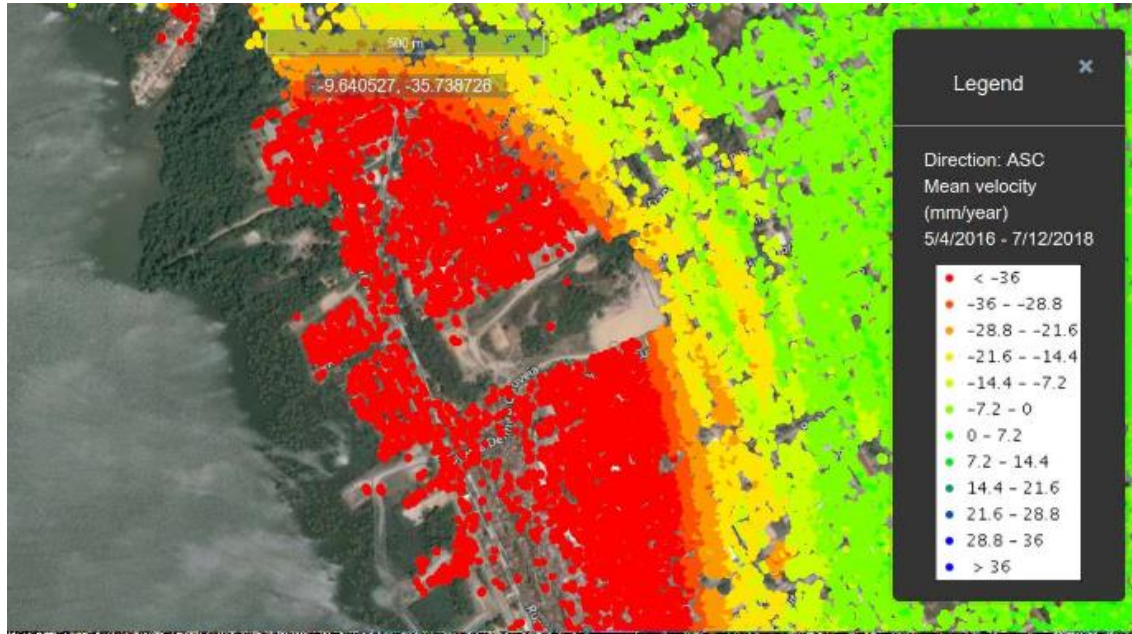
Figura 36 - Sismo-Maceió-sismograma.



Fonte: CPRM, 2019.

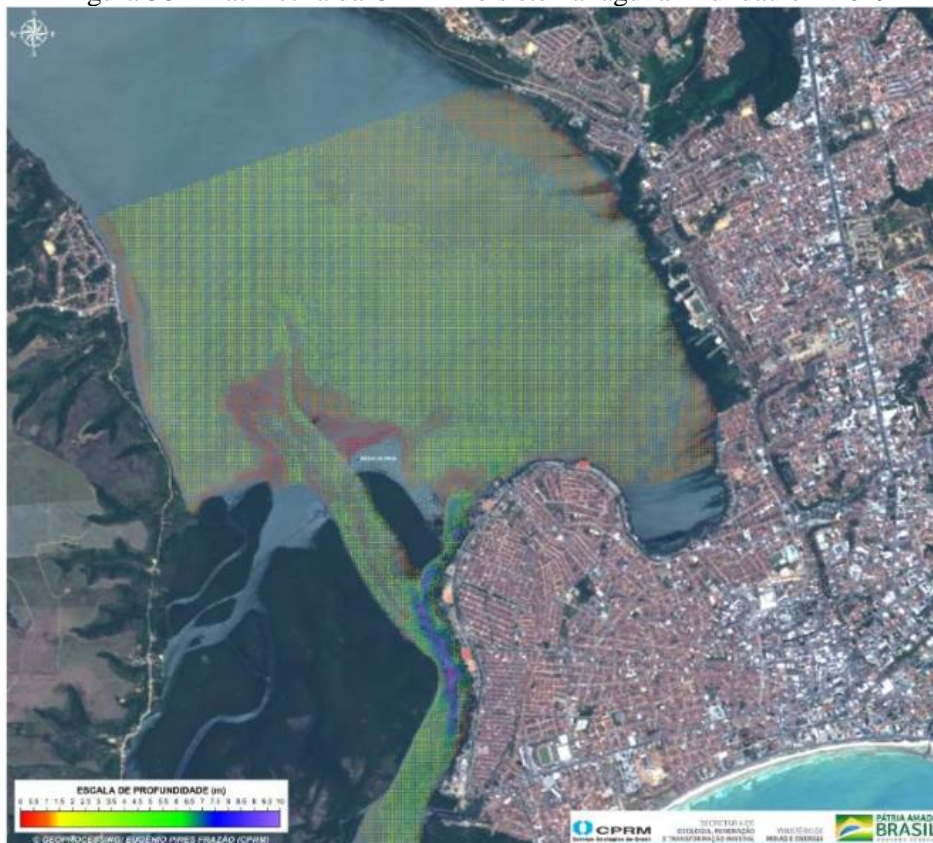
Estudos apresentados no relatório da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), mostram que dados obtidos pela CPRM através da Análise Interferométrica de Satélite, mostra que uma região (margem esquerda da laguna) entre os bairros Chã da Jaqueira, Bebedouro, Mutange, Farol, Pinheiro e Cambona está literalmente afundando. O relatório traça um “raio-X” da situação. O mapeamento de evidência de instabilidade do terreno descobriu uma série de anomalias entre 8 e 18 metros de profundidade na região do Pinheiro, Farol e Mutange. Também detecta a suspeita de afloramento do lado oposto da Lagoa Mundaú (margem direita). Ou seja, é como se a margem esquerda da lagoa na região do Mutange estivesse afundando, a uma ordem de 36 cm em 2,66 anos, equivalente a 13,5 cm/ano, conforme na figura 37 e 38, e o outro lado, em Coqueiro Seco, estivesse subindo.

Figura 37 - Resultado da análise interferométrica de imagens de radas no período de abril 2016 a dez 2018



Fonte: CPRM, 2019

Figura 38 – Batimetria da CPRM no sistema lagunar mundaú em 2019



Fonte: CPRM, 2019

A sedimentação em ambiente estuarino lagunar está intrinsecamente associada a fontes de sedimentos e aos processos operantes na laguna. A dinâmica sedimentar é controlada pelo aporte sedimentar e pelas condições hidrológicas, sendo marés, ondas, ventos e fluxos fluviais os principais agentes. Com o afloramento das rochas associado ao processo de intemperismo, bem como, com as constantes intervenções humanas, ocorrem o desprendimento de partículas da rocha ou do solo revolvido/desmatado, favorecendo ao processo de transporte e deposição dos sedimentos, em que o material erodido é transportado pelos rios processando-se deposições que podem ser temporais, sendo esse material chamado de aluvião.

O aporte sedimentar que ocorre continuamente na laguna mundaú, inicia-se com os processos de desagregação, transporte e deposição de sedimentos, que por sua vez, alteram-se no decorrer do tempo e no espaço em função das forças de desagregação representadas pela velocidade, turbulência do escoamento e forças de resistência representadas pela natureza do leito/margens (rocha, areia e material coesivo). A variação temporal de sedimentos em um determinado ambiente é função dos eventos de precipitação e da suscetibilidade da bacia em sofrer o processo erosivo.

Os sedimentos encontrados no sistema estuarino-lagunar tem, possivelmente, a sua origem relacionada a uma associação de fatores: aos processos erosivos das encostas, provocados pela retirada da vegetação ciliar, favorecendo o aparecimento de voçorocas e desmoronamentos das encostas da bacia do rio Mundaú, transportando com isso grande quantidade de sedimentos que são carreados para o corpo lagunar, assoreando áreas mais planas do sistema estuarino-lagunar Mundaú, porém, a maior parcela de contribuição é devido ao aporte de sedimentos (areia, fragmentos de sedimentos bioclásticos) pelos diversos canais identificados na laguna pela batimetria que barram a abertura do sistema.

Notou-se em diversos pontos do Rio Mundaú, assoreamento causado pela perda do solo através de fatores erosivos, oriundos, sobretudo, das atividades agropecuárias em áreas de preservação permanente, que causa diminuição de sua vazão, interferindo no seu ciclo hidrológico e comprometendo a disponibilidade de água tanto em quantidade quanto em qualidade. Acredita-se que a ausência da cobertura ciliar seja um dos principais fatores que vem potencializando o assoreamento do rio e seus afluentes. Os levantamentos dos perfis batimétricos no Sistema Estuarino Lagunar servirão para mostrar diferentes pontos caracterizados por distintas profundidades, largura e forma de todo o sistema. O aparecimento de grandes bancos de areia, como encontrado na região mais próxima à cidade de Pilar na direção NW (Azimute 337°) e em trechos mais próximos ao litoral na direção SE (Azimute 167°), que inclusive inviabilizou a execução dos serviços naquela região, essas deposições

alteram o canal de navegação (talvegue), o que dificulta a circulação de embarcações de grande porte, como por exemplo, o catamarã que sai da base do IMA ou mesmo as embarcações para os passeios das nove ilhas, que, algumas vezes, o trajeto do passeio fica incompleto, devido ao calado mínimo das embarcações, para alguns trechos tornam-se inviável adentrar mais no interior do sistema devido às baixas profundidades.

A subida do nível marinho, assim como em todas linhas de costa, teve muitos efeitos. Com enfoque no litoral alagoano, o mar invadiu vales rebaixados, passando ao domínio de estuário, muitos tiveram suas calhas ampliadas pelos processos de maré das águas fluviais e marinhas que acabaram contribuindo com as transgressões do Quaternário, para fácies atual. Levando em consideração os dados geomorfológicos da área, encontramos vários testemunhos morfológico-estruturais de que o rio formava um vale com certa profundidade e foi em afogado devido à subida do nível marinho (SILVA, 2001).

6 CONCLUSÕES

O Brasil possui um litoral extenso que abrange uma grande quantidade de estuários e lagunas navegáveis utilizados para exploração econômica, transporte de cargas e de pessoas, com tudo, devido a busca por soluções que minimizem os efeitos da degradação ambiental no ambiente estuarino lagunar e que possibilitem um uso sustentável dos recursos naturais, surgiu a necessidade que fossem realizados estudos quantitativos de diagnóstico desse corpo d'água para mensurar o aporte de sedimentos. Uma das áreas pouco explorada são os estudos de comparação entre os levantamentos hidrográficos (sondagens) com os métodos empíricos. De acordo com os estudos realizados nesta pesquisa, conclui-se que a realização de levantamentos hidrográficos (LH), assim como a aquisição e processamento dos dados cujo o produto final são os MDPs dentro da precisão esperada para LH, requer a necessidade de uma equipe multidisciplinar com profissionais capacitados e com conhecimentos específicos em engenharia, física, hidrologia, geodésia, cartografia, uma vez que a representação de um relevo submerso exige uma adequada interação entre o conhecimento das técnicas de execução para aplicar a tecnologia disponível, infraestrutura e planejamento.

A evolução morfodinâmica do sistema lagunar envolve características ambientais locais, haja vista, que o contraste evidenciado na assimetria da seção transversal estuda que corrobora a respeito das fontes do acelerado processo de degradação, com maior destaque para a ocupação não planejada ao seu entorno, lançamento inadequado de esgoto sanitário, resíduos sólidos, efluentes industriais não tratados, pela ocupação de áreas protegidas (manguezais), baixa consciência ambiental, bem como do engajamento entre o poder público e da participação social da população do entorno e exploração indiscriminada dos recursos naturais. Todos esses fatores encontram-se intimamente relacionados ao processo progressivo de degradação, que traz como consequência as alterações morfológicas que são mais evidentes na margem esquerda, ou seja, lado mais urbanizado, tanto para contribuição com grandes quantidades ligações clandestinas de esgotos sanitários, maior número de indústrias. A tendência observada é que o processo acelerado de assoreamento cause uma perda de área molhada em todo o seu espelho d'água que é consequência do processo de degradação, ou seja, a linha de margem tenderá a avançar para dentro da laguna.

A avaliação da produção de sedimentos com base em métodos empíricos mostra uma produção de 1.461 quilos de m^3 (método de Garde e Kothyari) e cerca de 14 e 9,7 cm de profundidade de depósito anualmente (Lacey-Inglis). As observações de campo das batimetrias mostram que a produção dos sedimentos é de cerca de 1.821 quilos de m^3 (em 2018), com um

depósito médio de sedimento de 8 cm. A avaliação comparativa dos métodos de estimação indica que métodos empíricos como Gadre e Kothiyari; Lacey-Ingles estão mais perto dos dados de campo observados.

A existência de atividades de alto potencial poluidor na área de drenagem do estuário lagunar do Mundaú, como o lançamento de esgotos provenientes das sedes urbanas e de efluentes provenientes das atividades industriais e agrícolas na bacia aumentam a descarga sólida que descarrega na laguna, bem como altera os padrões de qualidade.

Os resultados das batimetrias indicam que o sistema estuarino lagunar mundaú, tenderá a alcançar um novo equilíbrio na morfologia do leito, devido a interação de ações hidrodinâmicas e gravitacionais, uma vez que existe uma região (margem direita) onde está ocorrendo um afloramento, ao mesmo tempo que está ocorrendo um recalque na margem oposta. Tais efeitos, segundo os Resultados Preliminares dos Estudos sobre a instabilidade do bairro pinheiro, que foi apresentado ao Senado Federal em 21/03/2019, estão relacionados aos eventos sísmicos na região. Os resultados obtidos nessa pesquisa são melhor interpretados quando são adicionados os resultados da análise interferométrica de imagens de radar no período de abril 2016 a dez 2018, que foram obtidos dos estudos de investigação da CPRM. Através das batimetrias de 18/12/2012 e 08/08/2018 (intervalo de tempo de 5,64 anos), conforme figura 33, é possível observar a diferença de nível entre os pontos dos perfis transversais, localizados na extremidade mais próxima da margem esquerda (região em que a CPRM afirma está ocorrendo recalque de 36 cm em 2,66 anos), com o seguinte cálculo: $106,6 - 31,4 = 75,2$ cm, que é a espessura da camada assoreada, cujo o material é proveniente do revolvimento do leito devido a atividade sísmicas e deposições ocorridas após enxurradas catastróficas, como as de maio de 2017. Portanto, os novos estudos batimétricos, bem como a análise dos dados interferométricos que foram realizados pela CPRM, indicam haver indícios de que os processos geológicos que estão associados com as movimentações de terras nos bairros da cidade de Maceió, possam estarem relacionados com as mudanças recentes de batimetria na laguna Mundaú, corroborando com os resultados obtidos nessa pesquisa, uma vez que, a taxa com que o solo da margem esquerda está afundando é de $36/2,66 = 13,53$ cm/ano, já a taxa de assoreamento é de $75,2/5,66 = 13,28$ cm/ano, porém, em condições normais, para o mesmo período, esperava-se a encontrar uma camada assoreada de no máximo 5,64 cm, considerando uma taxa de assoreamento homogênea nos 27 km² no valor de 1 cm/ano, segundo o relatório da ANA em 2013.

Do ponto de vista geológico, estes ambientes são altamente mutáveis, em função de sua localização situada na interface continente-oceano, sendo constantemente remobilizados pela

ação dos processos costeiros associados às ondas, correntes costeiras, marés e ao aporte fluvial de sedimentos e aos fatores antrópicos. Os estuários estão entre as regiões mais férteis do mundo e sua produtividade se constitui num importante meio de vida para as populações, que vivem em suas margens e deles retiram a maior parte do seu sustento. Porém, apesar da importância que esses ecossistemas desempenham para as populações humanas e para as várias espécies de organismos que dependem dos estuários, esses ecossistemas, nas últimas décadas, veem sofrendo impactos antrópicos, funcionando como receptores de efluentes domésticos e industriais que vêm alterando, sobremaneira, suas condições ambientais (SANTOS et al., 2009).

As ocorrências de alguns eventos de cheia foram cruciais para descrever as mudanças significativas que ocorreram no leito do sistema estuarino lagunar, bem como da aceleração do processo de assoreamento e que culminaram nas alterações morfológicas constatadas nesta pesquisa. A descarga fluvial é fruto principalmente do regime de chuvas da bacia, que define o padrão hidrológico do sistema e estabelece os períodos de vazante e cheia do canal. A carga sedimentar acompanha o regime de vazão dos rios, onde os picos máximos de transferências de sedimentos ocorrem comumente durante as cheias. Este período além de ser marcado por importantes carreamento de sedimentos das vertentes para o canal estabelece o maior trabalho de transferência de sedimentos ao longo do perfil longitudinal do rio (e planícies de inundação) para o sistema lagunar, beneficiado pelo aumento da energia do fluxo proporcionado pela crescente da vazão. Os municípios que compõem a bacia hidrográfica do Mundaú possuem em sua maioria áreas urbanas nas planícies inundáveis e já sofreram repetidamente inundações; algumas provocando elevados prejuízos (1914, 1941, 1969, 1988, 1989, 2000, 2010, 2017), revelando algo corriqueiro em grande parte das metrópoles brasileira que sofrem com inundações, pois a grande maioria seguiram modelos de urbanização que só agravam o problema, pois além de serem construídas em área de preservação, também acarretam na diminuição da área de permeabilização do solo devido a expansão imobiliária causando relevantes impactos socioeconômicos ao redor do mundo, dentre os quais, destaca-se o assoreamento do corpo lagunar do mundaú. Assim, o regime fluvial, disposição de sedimentos e a condição ambiental da bacia são elementos essenciais na evolução espaço-temporal do perfil transversal no sistema estuarino lagunar Mundaú.

Portanto, a busca por soluções que envolvem o sistema estuarino lagunar, transcorre da participação de vários fatores, por exemplo: setor público nas três esferas, setor produtivo, sociedade organizada através de associações e outras representações. Os estudos quantitativos que estejam relacionados a degradação ambiental, servem como ponto de partida para

elaboração de medidas que visem à maximização do uso dos recursos hídricos disponíveis, para que se possam evitar os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos, veio a necessidade de quantificar e comparar a taxa de assoreamento usando métodos empíricos e com as observações feitas em campo através de medições topobatimétricas (sondagens). Os resultados obtidos desta pesquisa servirão para fornecer subsídios para o planejamento e o desenvolvimento de mecanismos de gestão capazes de garantir a manutenção de padrões adequados de qualidade ambiental e possibilitar o uso múltiplo sustentável de seus recursos hídricos no estuário lagunar do Mundaú.

RECOMENDAÇÕES

- Recomendam-se para trabalhos futuros a realização de outros levantamentos batimétricos com Sonar de Varredura utilizando frequência menor que 8 kHz;
- Recomenda-se também a realização de levantamentos multifeixe e por laser aerotransportado;
- Estudos sobre a precisão em levantamentos batimétricos realizados com sonar e ecobatímetros monofeixe e multifeixe;
- Estudos sobre a viabilidade da utilização de dados de sensores remotos de alta resolução para estimativa de profundidades de corpos d'água;
- Estudo do tamanho médio das partículas finas do leito, utilizando ensaios de microscopia ótica: microscopia de campo escuro, microscopia com contraste de fase e microscopia com contraste de interferência. Com o objetivo da escolha ideal da frequência do equipamento para medir a camada de lama;
- Estudos sobre a aplicação da técnica RTK para controle da variação do nível d'água durante os levantamentos batimétricos, e ainda estudos mais detalhados sobre a aplicação da krigagem em levantamentos batimétricos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166 – Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.
- ALSDORF, D. E.; RODRIGUEZ, E.; LETTENMAIER, D. P. Measuring surface water from space. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 2, 2007, p. 1-24.
- ALVEIRINHO Dias, J.M.. **A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos** (Uma Introdução à Oceanografia Geológica) 2004, p. 68 - 86 (e-book).
- BENOIT, G.; ROZAN, T. F. Pb and Cs dating methods in lakes: a retrospective study. **J. Paleolimnol**, v. 25, 2001, p. 455-465.
- BILHALVA, Wagner Danton de Bittecourt. **Batimetria de pequenos reservatórios através de metodologia convencional e alternativa**. 2013. 72f. Dissertação (Mestrado em Geomática)– Programa de Pós- graduação em Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2013.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Plano de Ações e Gestão Integrada do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú/Manguaba–CELMM**. Brasília: Agência Nacional de Águas. 2006. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/planoderecursos/Celmm_Apresentacao.aspx>. Acesso em: 22 jun. 2017.
- _____. **Apresentação da área do projeto**: descrição do complexo estuarino-lagunar Mundaú-Manguaba-CELMM. [201-?]. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/planejamento/planoderecursos/Celmm_Apresentacao.aspx>. Acesso em: 22 jun. 2017.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª ed, Interciência. Rio de Janeiro, RJ. 2008. 599p.
- CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL. 2000a. 154p.
- CARVALHO, N. O; FILIZOLA JÚNIOR, N.P; SANTOS, P.M.C; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL. 2000b. 140p.
- COLLISCHONN, B.; CLARKE, R. T. Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, 2016, p. 719-727. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbrh/2016nahead/2318-0331-rbrh-2318-0331011616022.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2017.
- CHIAPPORI, D.; HORA, M.; AZEVEDO, J. Interface between Hydropower Generation and Other Water Uses in the Piabanha River Basin in Brazil. **British Journal of Applied Science & Technology**, v. 14, 2016, p. 1-10.
- CORRÊA, I.C.S. **Ambientes deposicionais clásticos marinhos**. Centro de Estudos de

Geologia Costeira e Oceânica, UFRS 1997. 151p.

CORRÊA, Mariana Costa. **Caracterização elementar, isotópica e biogeoquímica da matéria orgânica particular e dissolvida no complexo estuarino da baía de São Marcos, São Luís-MA.** São Luís, Universidade Federal do Maranhão. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). 2017.

DALRYMPLE, R. W. Tidal depositional systems. In: WALKER, R. G.; JAMES, N. P. (Ed.). *Facies Models: response to sea level change.* **Geological Association of Canada**, St. John's, 1992, p. 195-218.

DYER, K. R. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G. M. E. (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of estuaries.** Amsterdam: Elsevier, 1995, p. 423-449.
FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The world's mangroves 1980-2005.** Rome: FAO, 2007.

FERREIRA, I. O. et al. In bathymetric surfaces: IDW or kriging. **Bulletin of Geodetic Sciences**, v. 23, n. 3, 2017, p. 493-508.

FLORES, M.; NASCIMENTO, J. C. Novos desafios da pesquisa para o desenvolvimento sustentável. **Agricultura Sustentável**, Jaguariúma, jan./abr. 1994, p.10-17.

GAO, H. Satellite remote sensing of large lakes and reservoirs: from elevation and area to storage. **WIRES Water**, v. 2, n. 2, 2015, p. 147-157. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/wat2.1065>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

GARDE, R. J.; KOTHYARI, U. C. Scour around bridge piers. *Proc. Indian Natl. Sci. Acad.* **PINSA**, v. 64, 1998, p. 569-580.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física.** Curitiba: UFPR, 1999.

GEMAEL, Camil; MACHADO, Alvaro Muriel Lima; WANDRESEN, Romualdo. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas.** 2. ed. - Curitiba: UFPE, 2015.

GIOSAN, L. et al. Mudança climática: proteja os deltas do mundo. **Natureza**, n. 516, 2014, p. 31-33.

GLYMPH, L. M. Sedimentation of Reservoirs. In: ACKERMANN, W. C. et al. (Ed.). *Man-made lakes: their problems and environmental.* **American Geophysical Union**, Washington DC, 1973, p. 342-348.

GOMES, H. B. et al. Estudo dos dados hidrometeorológicos da Bacia do rio Mundaú. 2004.

HUMMINBIRD – Manual de Instruções: Modelo: 1199ci HD 1100 Series. EUA, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Recomendações Para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS.** 2008.

_____. **Resolução PR n° 22 Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**. Rio de Janeiro: IBGE. 1983.

INFOCLIMA. Informativo Climático sobre a Quadra Chuvosa de 2000. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/infoclima/2000/abr_2000.shtml>. Acesso em: 12 jun. 2017.

INPE. Instituto de Pesquisas Espaciais. Curso de treinamento: introdução às técnicas de sensoriamento remoto e aplicações. **Relatório INPE**. São José dos Campos, 1980.

INSTITUTO AMBIENTAL VIDÁGUA, Ministério da Educação e Desporto, Secretaria do Ensino Fundamental-SEF, versão ago. 1996.

KATIYAR, R.; GARG, P. K.; JAIN, S. K. Watershed prioritization and reservoir sedimentation using Remote sensing data. **Geocarto Int**, v. 21, 2006, p. 55-60.

KHOSLA, A. N. Silting of Reservoirs, Publication Central Board of Irrigation and Power. Government of India Press. 1953.

KOTHYARI, U. C. Indian practice on estimation of scour around bridge piers – a comment. **Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.**, v. 32, 2007, p. 187-197.

KOTHYARI, U. C.; JAIN, M. K.; RAJU, K. G. R. Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS. **Hydrol. Sci. J.** v. 47, 2002.

LIMA, R.C.A. **Estudo sedimentológico e geoambiental no sistema lagunar Mundaú – Alagoas**. Dissertação de mestrado apresentado ao programa de pós-graduação em geociência da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, 1998. p. 127

LIMA, R.C. de A & Coutinho, P.N. – 2000. **Estudo Sedimentológico e principais Agentes de Impactos no Sistema Estuarino Lagunar Mundaú- Al**: Subsídios à sustentabilidade. Mangrove 2000, Recife.

LUAN, H. L. et al. Decadal morphological evolution of the Yangtze Estuary in response to river input changes and estuarine engineering projects. **Geomorphology**, n. 256, 2016, p. 12-23.

MARCUZZO, F. F. N.; Romero, V. ; Cardoso, M.R.D. . **Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Mundaú**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 2011. v. 1. p. 1-20

MATOS, Artur José Soares. **Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional CAV-NH**. Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.

MCCOMARC, Jack C. **Topografia**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

MEZINE, Wesley Andersen et al. Avaliação de métodos de redução de sondagens batimétricas ao nível d'água instantâneo para monitoramento de assoreamento: estudo de caso

no reservatório da usina hidrelétrica Mauá. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v, 22, n. 4, out. dez. 2016, p. 736-750.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. São Paulo: EDUSP. 2002.

MIGUENS, A. P. **Navegação**: a ciência e a arte (DN3-I) – navegação costeira, estimada e em águas restritas. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2005. v. 1. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/npublicacoes>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

MONICO, João F. G. **Posicionamento pelo GNSS**: descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: EdUNESP, 2008.

MUTREJA, K. N. *Applied Hydrology*, fourth ed. Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1986.

NORTEK TECHNICAL NOTES, 2001. **Monitoring Sediment Concentration with Acoustic Retroespalhamentoing Instruments**. Nortek technical note No. 003. 5p.

OLIVEIRA, R. de. **Otimização dos pesos das observações geodésicas pelo problema de valor próprio inverso com considerações sobre o planejamento da confiabilidade da observação**. Tese de Doutorado, Curitiba: Universidade Federal do Paraná - Engenharia Cartográfica, 2007.

PEREIRA, L. C.; FORMAGGIO, A. R.; STRAUCH, J. C. M. Taxa de adequação de uso das terras de uma bacia hidrográfica utilizando informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Viçosa, MG/SBCS/UFV. **Anais...** v. 4, 1995, p. 2117-2118.

PERILLO, G. M. E. Definitions and géomorphologie classifications of estuaries. In: _____. (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of estuaries**. New York: Elsevier, 1995.

PONÇANO, W. L. et al. Metodologia para estudo de assoreamento de reservatório (III): roteiro para estudo de reservatórios no sul e sudeste brasileiro. CBGE, 3, Itapema, SC. **Anais...** São Paulo, ABGE, v. 2, 1981, p. 331-353.

POPIELARCZYK, Dariusz; TEMPLIN, Tomasz; LOPATA, Michal. Using the geodetic and hydroacoustic measurements to investigate the bathymetric and morphometric parameters of Lake Hańcza (Poland). **Open Geosciences**, v. 7, p. 854-869, 2015.

PRANDLE, D. **Estuaries**: dynamics, mixing, sedimentation and morphology. Cardiff: University of Wales, 2009.

RAHUL, U. et al. Annual sedimentation yield and sediment characteristics of upper lake, Bhopal, India. *Res. J. Chem. Sci.* v. 2, 2012, p. 65-74.

RAMACHANDRA, T. V.; VINAY, S.; CHANDRAN, M.D. Quantification of annual sediment deposits for sustainable sand management in Aghanashini river estuary. **Journal of Environmental Management**, v. 1, n. 11, 2017, p. 1-11.

RAMACHANDRA, T. V.; SETTURU, B.; CHANDRAN, M. D. S. Geospatial analysis of forest fragmentation in Uttara Kannada district, India. **For. Ecosys**, v. 3, n. 10, 2016.

RIDD, P. V.; STIEGLITZ, T. Dry season salinity changes in tropical mangrove and salt flat fringed estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 54, 2002, p. 1039-1049.

ROCHA, J. S. M. **Manual de Projetos Ambientais**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA), Brasília, 1997.

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.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. B.; BUDA, H.; KISHI, R.; MARONE, E.; LAUTERT, F. L. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento Centro Politécnico). 2001. 372p.

SAUNITTI, Rosa Maria. Estudos sobre a erosão na bacia e assoreamento do reservatório do rio Passaúna, Curitiba. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, v. 53, 2003, p. 83-92

SANTOS, T. G.; BEZERRA –JUNIOR, J. C.; COSTA, K. M. P.; FEITOSA, F. A. N.; Dinâmica Da Biomassa Fitoplantônica E Variáveis Ambientais Em Um Estuário Tropical (Bacia Do Pina, Recife, Pe). *Rev. Bras. Enga. Pesca* 4(1),. p. 95-109. 2009.

SCHROEDER, R. A. Transferability of environmental assessments in the Salton Sea Basin, California, and other irrigated áreas in the Western United States to the Aral Sea Basin, Uzbekistan. In: MICKLIN, P. P.; WILLIAMS, W. D. (Ed.). *The Aral Sea Basin. Proc. of the Nato advanced Research Work-Shop. Critical Scientific Issues of the Aral Sea Basin: State of Knowledge and Future Research Needs*. Tashkent, Uzbekistan, May 2-5, 1994.

SILVA, A. P. **Estudos geomorfológico e sedimentológico do sistema estuarino-lagunar do Roteiro – Alagoas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências. UFPE 2001. 112p.

SOUZA CRUZ. **Plano diretor de solos**. 3. ed. [S. l.: s. n.], 1998. p. 46. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABvtcAB/livro-plano-diretor-solos-souza-cruz>>. Acesso em: 5 jul. 2017.

SOUZA, Wendson de Oliveira. GARNÉS, Silvio Jacks dos Anjos. Determinação dos componentes do desvio da vertical pelo método de Helmert: relacionamento entre nivelamento de precisão com altitude elipsoidal e MAPGEO2010. **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife/PE. 2012.

SYVITSKI, J. P. M.; SAITO, Y. Morphodynamics of deltas under the influence of humans. **Global and Planetary Change**, v. 57, n. 3, 2007, p. 261-282.

TENÓRIO, R. S. **Estudo hidrometeorológico da bacia do rio Mundaú**. Maceió: Universidade Federal de Alagoas; MET, 1985.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993. p. 943.

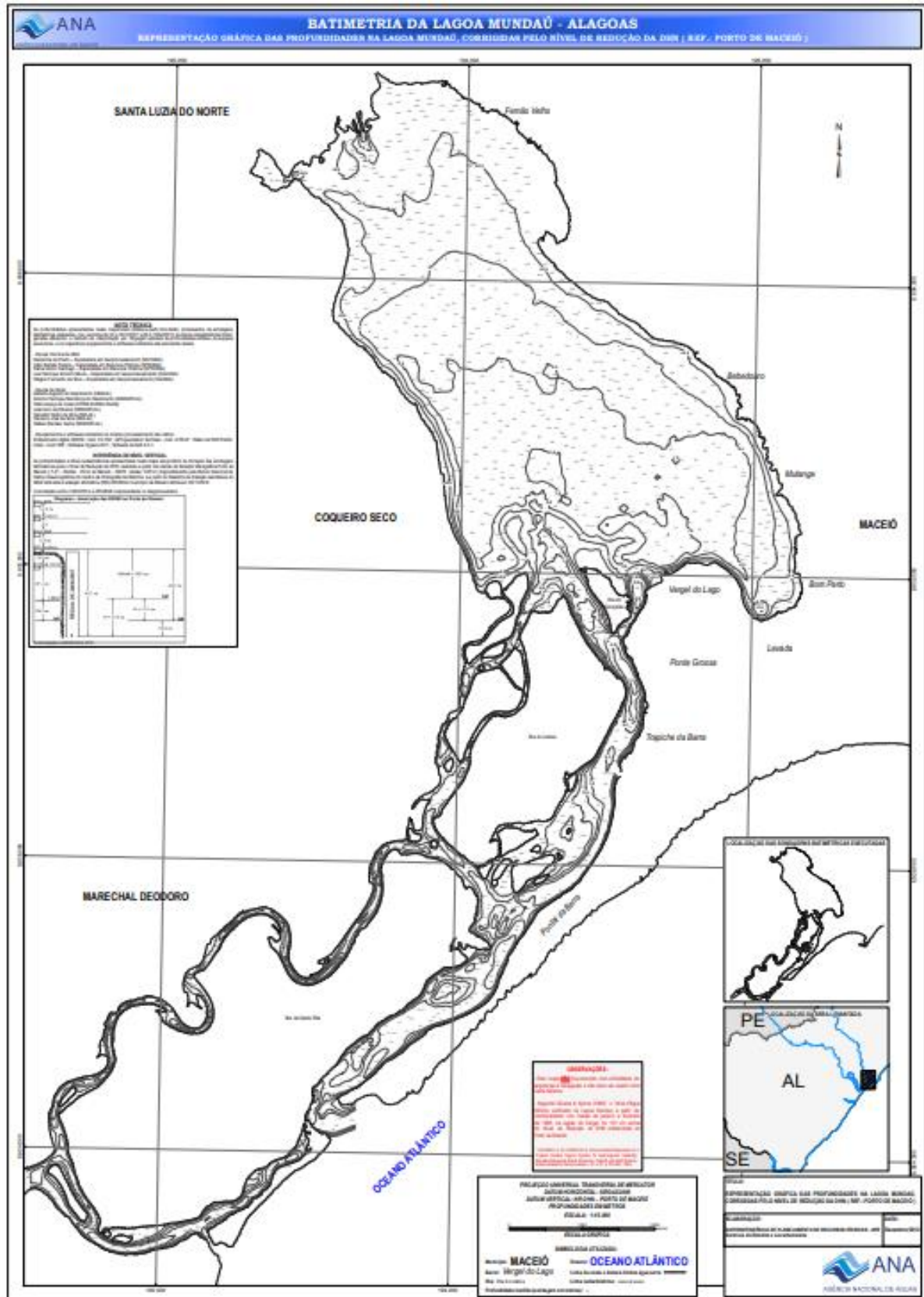
VALENTE, O. F. Manejo de Bacias Hidrográficas. **Brasil Florestal**, v. 5, n. 18, 1974, p. 14-24.

VITTUARI, Luca et al. Comparative Study of the Applied Methods for Estimating Deflection of the Vertical in Terrestrial Geodetic Measurements. **Sensors**, v. 15, n. 565, 2016, 14p.

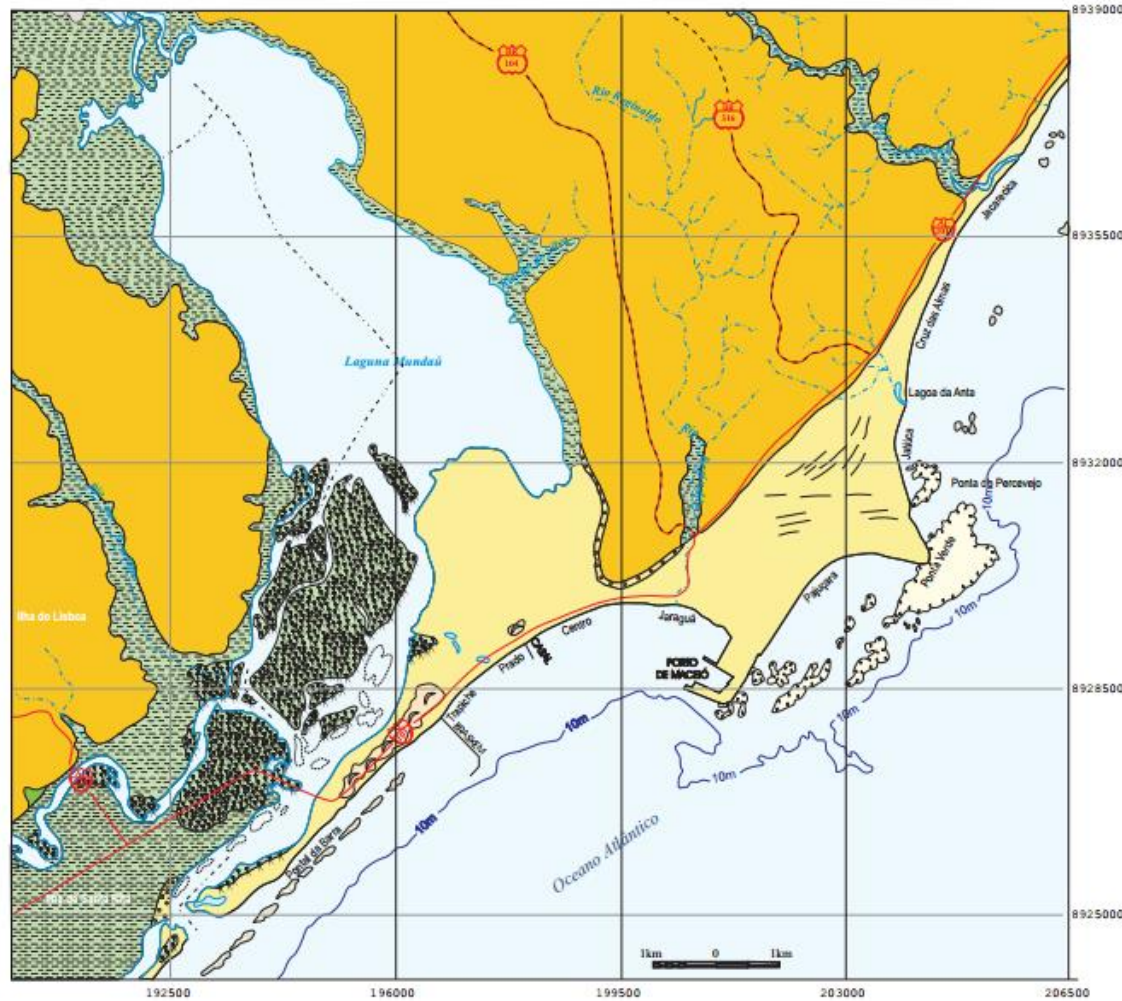
WELLS, J. T., COLEMAN, J. M **grained sediment dynamics, coast of Surinam**, South Journal of Sedimentary Petrology, v. 51, n. 4, pp. 1053 1068, 1981

WOODROFFE, C. et al. Landscape variability and the response of Asian megadeltas to environmental change. In: HARVEY, N. (Ed.). **Global Change and Integrated Coastal Management**, Dordrecht, The Netherlands: Springer, v. 10, 2006, p. 277-314.

APÊNDICE A – MAPA DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO



APÊNDICE B – MAPA GEOLÓGICO - GEOMORFOLOGICO



MAPA GEOLÓGICO - GEOMORFOLOGICO

Escala 1:50.000

LEGENDA

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

| UNIDADES GEOLÓGICAS/GEOMORFOLOGICAS | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| Quaternário | Bancos arenosos | Depósitos arenosos com fragmentos de conchas |
| | Mangues | Sedimentos argilo-siltoso e argila orgânicas com vegetação com vegetação típica |
| | Dunas | Sedimento arenoso bem selecionado |
| | Recifes de Corais e Algas | Algas e corais encrustados nos recifes de arento |
| | Recifes de Arento (Beachrocks) | Arenitas com cimentação carbonática, estratificadas |
| | Terraços Marinhos Holocênicos | Arenias bem selecionadas com fragmentos de conchas |
| | Depósitos Flúvio-Lagunares | Sedimentos silicos-argilosos acinzantados, com matéria orgânica, conchas e madeira |
| Terciário | Terraços Marinhos Pleistocênicos | Sedimentos arenosos, com presença ocasional de níveis ricos em ácido húmico |
| | Formação Barreiras | Arenias e argilas de coloração variada, com linterização |
| | Cretáceo | Formação Coq Seco |

FEIÇÕES MORFOLOGICAS

- Cordões Litorâneos

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Rodovia Federal
- Rodovia Estadual
- Limite Municipal
- Cota batimétrica
- Drenagem
- Laguna

Mapa Base: MAPLAN Agrolavtamento S.A.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

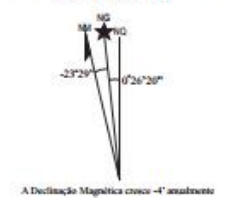


ARTICULAÇÃO DA FOLHA



Fonte: IBGE 1985

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1985 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA DO CENTRO DA FOLHA



A Declinação Magnética cresce -4\"/>

