



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**LABORATÓRIO DE GEOLOGIA MARINHA - LAGEMAR**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DINÂMICA DOS  
OCEANOS E DA TERRA**

**EVOLUÇÃO AMBIENTAL DAS LAGOAS DE PIRATININGA E ITAIPU,  
DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE E SEUS ENTORNOS**

**José Joaquim Dutra de Andrade**

**2017**

**EVOLUÇÃO AMBIENTAL DAS LAGOAS DE PIRATININGA E ITAIPU,  
DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE E SEUS ENTORNOS**

**José Joaquim Dutra de Andrade**

Dissertação de Mestrado apresentada no programa de Pós-Graduação em Dinâmica da Terra e dos Oceanos, do Laboratório de Geologia Marinha, da Universidade Federal Fluminense.

**Orientadores**

Cleverson Guizan Silva  
Gilberto Tavares de Macedo Dias

Niterói  
Agosto, 2017

**EVOLUÇÃO AMBIENTAL DAS LAGOAS DE PIRATININGA E ITAIPU,  
DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE E SEUS ENTORNOS**

**José Joaquim Dutra de Andrade**

**Orientadores**

Cleverson Guizan Silva  
Gilberto Tavares de Macedo Dias

Dissertação de Mestrado apresentada no programa de Pós-Graduação em Dinâmica da Terra e dos Oceanos (DOT), do Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR), da Universidade Federal Fluminense (UFF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Aprovado por

---

Prof. Cleverson Guizan Silva, PhD.

---

Prof. Gilberto Tavares de Macedo Dias, PhD.

---

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, PhD

Niterói  
Agosto, 2017

ANDRADE, José Joaquim Dutra de

EVOLUÇÃO AMBIENTAL DAS LAGOAS DE  
PIRATININGA E ITAIPU, DETERMINAÇÃO DA LINHA DE BASE  
E SEUS ENTORNOS. / ANDRADE, J.J.D. Niterói;  
UFF/LAGEMAR/DOT, 2017.

xv, 138f. v.;29,7cm

Orientador, Cleverson Guizan Silva

Dissertação (Mestrado) – UFF / Laboratório de Geologia  
Marinha / Dinâmica dos Oceanos e da Terra, 2016

Universidade Federal Fluminense, Laboratório de  
Geologia Marinha, Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e  
da Terra III. Mestre

## **Agradecimentos**

Este trabalho, que eu assino com muito gosto, é na realidade o resultado das contribuições dos diversos especialistas que ao longo do tempo vieram somar seus conhecimentos, habilidades, sugestões e esforços na obtenção de dados primários e depuração da pesquisa. O primeiro e principal coautor é o meu primeiro orientador, o Prof. Gilberto Tavares de Macedo Dias, homem do mar como eu, capaz de fazer funcionar a eletrônica embarcada sobre uma prancha inflável e de outras soluções igualmente criativas que levam apenas horas entre a concepção e a execução, como mostram alguns desenhos da dissertação. A ele devo também meu acesso ao programa de Dinâmica dos Oceanos e da Terra (DOT) do Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR) da Universidade Federal Fluminense e ao Prof. José Antônio Baptista Neto ter me aceito. A oportunidade de voltar aos bancos escolares em programa de pós-graduação da UFF possibilitou o contato com assuntos atuais em uma grade de matérias holística onde o meio ambiente é protagonista. Minha formação mecanicista foi complementada com matérias como biologia, ciclo do carbono, licenciamento ambiental e outras além daquelas afetas a um curso de geologia. A percepção do tempo também foi assaz modificada na medida em que fenômenos planetários recorrentes e importantes desenvolvem-se em câmara lenta. Com o Prof. Cleverson Guizan da Silva, passei dias estudando in loco o resultado da morfodinâmica costeira, tectonismos recentes e outros em viagem ao campo na região norte fluminense. Houve a parte trabalhosa da dissertação de coletar toda sorte de dados no campo, descrever testemunhos malcheirosos, usar liofilizadores, novos equipamentos de granulometria, estação total, DGPS pós-processados, entender o que acontecia na frente das lupas estereoscópicas e atingir afinal a massa crítica para produzir e concluir sobre o que havíamos concebido como objetos do projeto. Nesta faina incessante fui assistido por graduandos, mestrandos, doutorandos, pós-doutorandos e professores. Vítor me ensinou a como operar o granulômetro eletrônico, Rafael Cuellar de Oliveira e Silva participou ativamente ao meu lado ajudando a extrair os testemunhos, fazer as medições, fotografar minhas amostras de gastrópodes e sementes de Charae, o Fabrício Ferreira ajudou a identificar os microrganismos. Rodrigo

Abucharra chegava cedo para ligar a estação fixa DGPS no telhado da UFF, em referência de nível protegida dos olhares e ações incautas. Janio Aguiar da Costa cujo conhecimento da operação do sonar EA 400 vai além das instruções do manual, possibilitou o registro e interpretação de resultados. O Felipe Monteiro pós processou nossos dados de campo com resultados positivos surpreendentes. O Prof. Guilherme Borges Fernandez me capacitou novamente nas artes da topografia e me ensinou a usar uma estação total. Ricardo Marinho Soares Braz produziu os mapas de inundação e planimetrou a área das bacias. José Rafael Batista Lebre Ferreira colocou ordem na maçaroca de informação conforme a regra e a norma. O Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, meu grande incentivador, auxiliou a alinhar a dissertação com a legislação, e também o Paulo Bidegain e o pessoal do CLIP que me forneceram importantes subsídios. E pelo esforço de todos realizamos um trabalho de utilidade pública. A esta equipe competente meu reconhecimento e agradecimentos.

Resumo da Dissertação submetida ao corpo docente do curso de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra – DOT - Laboratório de Geologia Marinha - LAGEMAR - Universidade Federal Fluminense – UFF, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Esta Dissertação faz uma síntese do conhecimento sobre a formação geológica e a evolução ambiental do sistema lagunar Itaipú Piratininga situado na Região Oceânica da cidade de Niterói no Estado do Rio de Janeiro, historia a ocupação do entorno das lagoas e o impacto antropogênico daí advindo, as consequências da perenização da ligação de Piratininga com o mar, com os atuais limites da variação relativa do nível da lagoa de Piratininga, em função das comunicações permanentes com a Lagoa de Itaipu, através do canal de Camboatá e do túnel de ligação com o mar no Tibau, discutir sobre a procedência das afirmações relativas ao assoreamento do referido sistema lagunar; ocupar três referências de nível (RN) do IBGE e através deles reambular, georeferenciar, nivelar ortométricamente e helipsoidalmente os principais pontos estudados, verificar e ajustar as cotas informadas na base de dados do sistema LiDAR com o referencial ortométrico do Datum de Imbituba (SC); nivelar ortométricamente a superfície do fundo da lagoa de Piratininga em um antigo ponto de sondagem, gerar mapas de enchentes que definam a extensão de alagamentos para cotas observadas por Oliveira em 1948, atualizadas conforme os estudos acima, e concluir objetivamente sobre todos estes assuntos.

Palavras-chave: Lagoa de Piratininga, Lagoa de Itaipú, batimetria, isóbatas, algas chara.

Niterói  
Agosto, 2017



Abstract of the Dissertation submitted to the teacher's body of the Postgraduate Course in Ocean and Earth Dynamics - DOT - Marine Geology Laboratory - LAGEMAR - Fluminense Federal University - UFF, as part of the requirements to obtain the Master's degree.

This dissertation summarizes the knowledge about the geological evolution of the Itaipú Piratininga lagoon system located in the Oceanic Region of Niterói city in the State of Rio de Janeiro, describes the occupation of the lagoons area and the consequent anthropogenic impact, proceed to limited bathymetric surveys as a consequence of the perpetuation of the connection of Piratininga with the sea, to determine the current limits of the relative level variation of the lagoon of Piratininga, due to the permanent communications with the Lagoa de Itaipu through the channel of Camboatá and the connection with the sea in Tibau tunnel, verify the origin of the generalized conviction regarding the silting of the lagoon system, occupy three IBGE local level references (RN) and through them reambulate, georeferentiate, and levelling orthometrically and helipsoidally the main points, verify and adjust the altitudes reported in the database of the LiDAR survey with the orthometric reference of Imbituba Datum (SC), ortometrically leveling an old local drill point at the bottom of the Piratininga lagoon, create flood maps and define the extent of floods observed by Oliveira in 1948, updated according to the above studies, and objectively concluding on all these subjects.

Key words: Lagoa de Piratininga, Lagoa de Itaipú, batimetria, isóbatas, algas chara.

Niterói  
August 2017

# Índice

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Introdução.....   | 1  |
| 1.1   | Delimitação da Área de Estudo .....                               | 1  |
| 1.2   | Objetivos.....  | 3  |
| 1.2.1 | Objetivo Principal.....   | 3  |
| 1.2.2 | Objetivos Secundários.....  | 3  |
| 1.3   | O Homem e as Lagoas .....   | 4  |
| 1.3.1 | Ocupação e Principais Ciclos Econômicos .....                     | 4  |
| 1.3.2 | Expansão Urbana.....  | 6  |
| 1.3.3 | Interferências Antrópicas Relevantes no Sistema Lagunar.....      | 7  |
| 1.3.4 | Eutrofização do Sistema e Colonização do Espelho D'água.....      | 9  |
| 1.3.5 | Registros e Referências Pretéritas do Nível das Lagoas .....      | 14 |
| 1.3.6 | Taxas de Sedimentação do Sistema Itaipu-Piratininga .....         | 15 |
| 1.4   | Sobre Regulação das Águas.....                                    | 16 |
| 1.5   | Organização do Trabalho.....                                      | 18 |
|       | O trabalho está organizado em capítulos, a saber:.....            | 18 |
| 2     | Referencial Teórico.....  | 19 |
| 2.1   | Sobre Lagoas Costeiras.....                                       | 21 |
| 2.1.1 | Sobre a Formação Geológica e a Evolução do Sistema Lagunar.....   | 28 |
| 2.2   | A Esfera, o Geóide, o Elipsoide e os <i>Data</i> Brasileiros..... | 33 |
| 2.3   | Determinação da Posição Geográfica por Gps/Dgps .....             | 35 |
| 2.4   | Sobre Batimetria e Perfilamento do Subfundo.....                  | 38 |
| 2.5   | Sobre Reambulação .....   | 45 |
| 2.6   | Sobre Granulometrias .....  | 46 |
| 3     | Metodologias, Equipamentos e Materiais.....                       | 49 |
| 3.1   | Aquisição e Processamento dos Dados.....                          | 50 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.2   | Coleta e Análise de Sedimentos .....                         | 51  |
| 3.3   | Batimetrias , Perfilagem do Subfundo Lagunar .....           | 61  |
| 3.3.1 | O Pontal Arenoso de Piratininga.....                         | 66  |
| 3.4   | Análise de Dados Lagunares Pretéritos .....                  | 67  |
| 3.5   | Nivelamentos .....   | 76  |
| 3.5.1 | Nivelamentos Sobre o Elipsoide .....                         | 78  |
| 3.5.2 | Transportes e Nivelamentos Ortométricos.....                 | 83  |
| 3.5.3 | Reambulações e Verificações Ortométricas do Sistema LiDAR .. | 90  |
| 3.5.4 | Processamento dos Nivelamentos Elipsoidais.....              | 91  |
| 3.5.5 | Ondulações do Geóide .....                                   | 92  |
| 3.5.6 | Variação da Altitude LiDAR em Relação À Ortometria.....      | 95  |
| 3.5.7 | Nivelamento do Fundo da Lagoa de Piratininga .....           | 98  |
| 3.6   | Relação das Referências de Nível .....                       | 98  |
| 3.6.1 | Níveis Notáveis Relativos ao Sangradouro do Tibau .....      | 102 |
| 4     | Discussão dos Resultados .....                               | 104 |
| 5     | Conclusões .....   | 115 |
| 5.1   | Sugestão de continuidade.....                                | 117 |
|       | Referências.....   | 118 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Bacia Hidrográfica das lagoas de Itaipú e Piratininga. ....                                  | 2  |
| Figura 2 Extraído de (CUNHA; WASSERMAN, 2003). ....   | 13 |
| Figura 3 “Linhas de Deixas” na Pedra das Marrecas. Fotografia tirada em 02/2017. ....                 | 15 |
| Figura 4 Formação lagunar por barreira litorânea. Cedida por Silva (SILVA <i>et al.</i> , 2000). .... | 20 |
| Figura 5 Relação entre o tipo de lagoa e a dominância do litoral. Cedida por Dias, G. T. M. ....      | 24 |
| Figura 6 Deltas de Maré. Adaptado de (BOOTHROYD, 1985). ....  | 25 |
| Figura 7 Componentes morfológicas em lagoa com rios. Adaptado de Boothroyd 1985. ....                 | 27 |
| Figura 8 Adaptado do testemunho Itaipú-1/33 de Ireland (1988). ....                                   | 30 |
| Figura 9 Posição do testemunho extraído por Barth et al 2013. ....                                    | 31 |
| Figura 10 Perfil do testemunho recuperado por Barth et al 2013. ....                                  | 32 |
| Figura 11 Ilustração da medição da ondulação do Geóide (adaptada do IBGE). ....                       | 38 |
| Figura 12 Modelo astronômico com as amplitudes de sizígias e quadraturas. ....                        | 39 |
| Figura 13 Representação do aumento da amplitude da maré ao longo do litoral brasileiro ....           | 40 |
| Figura 14 Das leituras acima a profundidade batimétrica é a D. Fonte: DHM. ....                       | 41 |
| Figura 15 Correlação entre os diferentes NR nas estações da RMPG. (IBGE-2016). ....                   | 42 |
| Figura 16 Levantamento batimétrico Multi Feixe Sub Sea Word News 2016. ....                           | 44 |
| Figura 17 EA 400 Imagem do catálogo mostrando a função de cada campo do monitor. ....                 | 45 |
| Figura 18 Funcionamento do trado russo. ....  | 49 |
| Figura 19 Extração de testemunhos na lagoa de Piratininga. ....                                       | 52 |
| Figura 20 Horizonte de 57 a 107 cm, na bancada parra descrição. ....                                  | 53 |
| Figura 21 Fluxograma da coleta e análise dos testemunhos T2 e TD. ....                                | 54 |
| Figura 22 Descrição do testemunho T2. ....  | 55 |
| Figura 23 Descrição do testemunho TD. ....  | 56 |
| Figura 24 Liofilização das amostras para análise granulométrica ....                                  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 25 Colônia de gastrópodes <i>Heleobia Australis</i> – se acumulam até 4.000/m <sup>2</sup> . .....                                       | 58 |
| Figura 26 Sementes semiesféricas, provenientes de algas bentônicas <i>Charea</i> . .....  | 58 |
| Figura 27 Ostracodes, fragmentos de conchas e grãos de areia retrabalhados. ....  | 59 |
| Figura 28 Microgastrópodes (à esquerda) e Ostracodes. ....  | 59 |
| Figura 29 Granulômetro CAMSIZER – Labgeo. ....  | 60 |
| Figura 30 Granulometria segundo o granulômetro CAMSIZER – Labgeo. ....  | 60 |
| Figura 31 Adaptado do Operator’s Manual EA-400. Kongsberg Maritime. ....  | 62 |
| Figura 32 Adaptação do transdutor para uso em águas rasas-Dias, G.T.M.(2017). ....  | 62 |
| Figura 33 No primeiro plano transdutor e DGPS, ao fundo “Vandeco” e o EA-400. ....  | 63 |
| Figura 34 Saída à remo até o noroeste da Ilha do Modesto, já adquirindo dados. ....   | 64 |
| Figura 35 Registro do EA 400 em um dos trechos mais fundos da lagoa. ....   | 65 |
| Figura 36 Registro do EA 400 na parte submersa do pontal. ....  | 65 |
| Figura 37 Foto de 1973. Ilha do Pontal. Pontal submerso e margens ainda desocupadas. ....   | 66 |
| Figura 38 Foto atual aérea e batimetria. O pontal exposto e batimetria da proximidade. ....   | 66 |
| Figura 39 Ortofoto Piratininga 1973. As ilhas ainda são ilhas, o pontal está submerso e o lido da lagoa aparece desobstruído e intacto. ....    | 68 |
| Figura 40 Ortofoto Piratininga 1993. A lagoa tem água apenas nos locais mais fundos. Está seca e o seu lido aparece vegetado e urbanizado. .... | 69 |
| Figura 41 Superposição da batimetria realizada com a da ENGEVIX levantada de 2001. ....   | 70 |
| Figura 42 Observações do Lejeune convertidas para NMM Imbituba. ....  | 71 |
| Figura 43 Observações da SERLA compiladas por Ireland (1988). ....  | 71 |
| Figura 44 Batimetria e sedimentologia, lagoa de Itaipú compiladas por Ireland (1988). ....  | 72 |
| Figura 45 Batimetria do INPH – 1988 LAVÈRE-WANDERLEY (1999). ....   | 73 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 46 Batimetria por LAVÈRE-WANDERLEY (1999).....   | 74 |
| Figura 47 Delta de maré enchente – Itaipu 1973.....   | 75 |
| Figura 48 Delta de maré enchente – Itaipu 2016.....   | 75 |
| Figura 49 Posição geográfica dos três RN escolhidos e ocupados para medição da Ondulação do Geóide. ....                                    | 77 |
| Figura 50 Aquisição de posição e altura elipsoidal próximo ao RN 3000F. ....  | 78 |
| Figura 51 Ocupação do RN 3000M, junto à base da torre de telefonia da Oi. .   | 79 |
| Figura 52 Leitura nas proximidades do RN 1009E. ....  | 80 |
| Figura 53 Montagem da antena fixa no telhado do prédio das Geociências....  | 80 |
| Figura 54 Equipamento e materiais usados no nivelamento do fundo da lagoa. ....   | 81 |
| Figura 55 Em direção ao centro da lagoa para nivelamento ortométrico do ponto T2. ....  | 82 |
| Figura 56 A antena do DGPS fixada exatamente sobre a posição anterior do ponto T2.....  | 82 |
| Figura 57 Estação Total Leica, visada no RN 3000F e leituras do aparelho. ....  | 83 |
| Figura 58 Leitura do RN 3000F, nivelamento da laje do vertedouro do Tibau. Determinação da altitude ortométrica da laje do sangradouro..... | 84 |
| Figura 59 Em vermelho visadas para o Tibau, RN 3000F e ponto elipsoidal; em amarelos nivelamentos de verificação LIDAR. ....                | 85 |
| Figura 60 Foram feitas três visadas do RN 3000F para a laje do sangradouro. ....  | 86 |
| Figura 61 Determinação da altitude ortométrica do nível da lagoa. ....  | 86 |
| Figura 62 Mudança da estação para o Tibau Verificação do RN da SERLA, da laje do Tibau e do nível superior do sangradouro.....              | 87 |
| Figura 63 Prisma sobre o RN 3000M. ....   | 88 |
| Figura 64 Medição ortométrica sobre o ponto ELIPS-3000M. ....   | 88 |
| Figura 65 Definindo a altitude do aparelho. Prisma sobre RN 1009E.....  | 89 |
| Figura 66 Medição ortométrica sobre o ponto ELIPS-1009E.....  | 89 |
| Figura 67 Foto aérea LIDAR onde cada ponto azul é uma informação de altitude. ....  | 90 |
| Figura 68 Altitudes LIDAR fornecida por Ricardo M. S. Braz.....   | 96 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 69 Imagem com altitudes LiDAR fornecida por Ricardo M. S. Braz.....                        | 96  |
| Figura 70 Imagem com altitudes LiDAR fornecida por Ricardo M. S. Braz.....                        | 97  |
| Figura 71 Dados altimétricos do RN do IBGE dentro da DHN.....                                     | 99  |
| Figura 72 Documentação dos RN para cálculo das altitudes desejadas<br>.....                       | 100 |
| Figura 73 Relação entre as RN da DHN, do IBGE e do Nível do Mar. ....                             | 100 |
| Figura 74 Correlação entre o RN 2953H IBGE, RN2 DHN, NMM e “0”<br>Imbituba. ....                  | 102 |
| Figura 75 O NMM e o NM em relação ao nível do sangradouro.....                                    | 102 |
| Figura 76 Altitude do fundo da lagoa em relação ao nível de redução $Z_0$ .<br>.....              | 103 |
| Figura 77 1946 a 1979 – Laguna distrófica de restinga de estagnação<br>mesohalina. ....           | 107 |
| Figura 78 Circulação 1979 a 1992 – Lagoa de Itaipu se torna salgada oligohalina.<br>.....         | 107 |
| Figura 79 Circulação 1992 a 2008 – Lagoa de Piratininga eutrofizada e com<br>déficit hídrico..... | 108 |
| Figura 80 Circulação 2008 a 2017 – Lagoas salgadas oligahalinas sujeitas às<br>marés.....         | 109 |
| Figura 81 Lagoa de Itaipú: Linha vermelha altitude de 1,22 m, amarela 1,52<br>m. ....             | 112 |
| Figura 82 Lagoa de Piratininga: Linha vermelha altitude de 1,22 m, amarela<br>1,52 m acima. ....  | 113 |
| Figura 83 Aporte do mar para a lagoa de Piratininga pelas preamares.<br>.....                     | 114 |

# 1 Introdução

Na Região Oceânica encontram-se as Lagoas costeiras de Itaipú e Piratininga, ligadas pelo Canal de Camboatá. As duas lagoas constituem o Sistema Lagunar Itaipu Piratininga que também abrange seus cordões litorâneos, antigos lidos e o Canal de Camboatá. A Região Oceânica tem sido a área natural de expansão da Cidade de Niterói. A recente inauguração do Túnel do Cafubá vem facilitar o acesso à região, valorizando novas áreas, aumentando a exposição de suas áreas de preservação em especial das duas lagoas as quais serão objeto de análise quanto à situação atual, quando comparada com seu passado recente.

Quaisquer estudos relativos à dinâmica dos oceanos estão ambientados em escalas temporais particulares, que abrangem grandes intervalos do tempo geológico. Os processos geológicos criadores e transformadores do sistema lagunar a ser aqui estudados, evoluíram no Holoceno, principalmente nos últimos 3 mil anos.

## 1.1 Delimitação da Área de Estudo

A área de estudo encontra-se na Região Oceânica de Niterói, e está contida no quadrilátero definido pelos meridianos das longitudes  $043^{\circ} 06' 21''$  W e  $043^{\circ} 01' 54''$  W e pelos paralelos das latitudes  $22^{\circ} 54' 34''$  S e  $22^{\circ} 58' 26''$  S. Ali situa-se o sistema lagunar de Itaipú-Piratininga, importante acidente geográfico da Região Oceânica de Niterói, estado do Rio de Janeiro e objeto do presente trabalho. Na referida área estão contidos também o Canal de Camboatá que conecta as duas lagoas, os Cordões Litorâneos (Restingas) e suas praias, e a posição dos antigos Lidos.

Segundo o documento “Estratégia para Gerenciamento Ambiental Compartilhado dos Ecossistemas Lagunares de Itaipu e Piratininga e da Região Hidrográfica”, publicado em 2015 pelo Subcomitê do Sistema Lagunar Itaipu Piratininga (CLIP, 2015), em seu ANEXO II, a área total da bacia hidrográfica do sistema lagunar Itaipú Piratininga é de  $45,5 \text{ km}^2$ . Neste trabalho a área foi planejada usando dados LiDAR como tendo  $46,5 \text{ km}^2$ .



Neste mesmo ANEXO II, no quadro Ecossistemas Lagunares o CLIP lista os cursos afluentes as lagoas, alguns de seus nomes antigos e atuais nomenclaturas. Por tal documento chegam a Piratininga: Vala do Tibau, córrego da Viração (ex córrego Tamboatá), córrego do Cafubá, (ex córrego Aperta a Cinta), rio Arrozal (ex rio Piratininga) e o Valão do Santo Antônio (ex vala da Fonte). Já os afluentes a Itaipú são conhecidos como: rio João Mendes, rio da vala (ex córrego Boa Vista), córrego dos Colibris ou Tiririca (ex Candomblé) e vala de Itacoatiara (ex córrego Itaipú). O documento não quantifica a vazão total ou parcial dos afluentes naturais e tampouco quantifica a vazão total do esgoto tratado dentro dos limites da bacia e vertido nas lagoas.



Figura 1 Bacia Hidrográfica das lagoas de Itaipú e Piratininga.

O documento do Subcomitê em questão, no seu capítulo 4 ESPAÇO DE APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA, apresenta quadro que atribui população de 70.000 habitantes dentro dos limites da bacia hidrográfica. Dentre os **Serviços Ambientais** descritos no quadro da pág. 35 está a “ciclagem de nutrientes, diluição e tratamento de esgotos não tratados pela empresa concessionária”. Nesta mesma página, no quadro **Principais Causas de Impactos Ambientais e Degradação** são listadas: “cargas elevadas de esgotos (nutrientes) sem tratamento..., enormes quantidades de lixo lançados pelos rios e córregos devido aos hábitos da população...” Estas observações chamam a atenção quanto a

uma possível ocupação da bacia sem a devida atenção a drenagem, captação e tratamento de esgoto na área.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Principal**

Recuperar e estudar testemunhos nas áreas centrais da lagoa de Piratininga. Ocupar três RNs do IBGE, verificar a ondulação do Geóide em cada um deles através da comparação com medições elipsoidais; através de reambulação a partir de aerofotogrametria LiDAR, ajustar as cotas LiDAR na região das lagoas de Itaipú e Piratininga com os RN do IBGE, de modo a proporcionar a confecção de mapas de inundação da região com qualidade ortométrica a partir da base de dados LiDAR. Determinar a posição do Nível de Base (também Linha de Base ou Nível Médio do Mar) em relação às comportas do Tibau; determinar os atuais limites de variação relativa do nível da lagoa de Piratininga, em função das comunicações permanentes com a Lagoa de Itaipu, através do canal de Camboatá e do túnel de ligação com o mar no Tibau. Verificar a procedência da convicção generalizada da população que margeia as lagoas em relação às percepções e afirmações quanto ao assoreamento do sistema lagunar Itaipú Piratininga.

### **1.2.2 Objetivos Secundários**

Determinar a altitude (ortométrica) do fundo da lagoa em relação ao Nível Médio do Mar, segundo a DHN e o IBGE (Linha de Base ou Nível de Base relacionado ao Datum de Imbituba (SC)).

Discorrer sobre os possíveis impactos dos alteamentos no coroamento do sangradouro do túnel do Tibau, solicitados pela comunidade lagunar, à luz do projeto Modelagem Hidrodinâmica Ambiental para Planejamento de Obras nas Lagoas de Piratininga e Itaipu – RJ, produzido pela COPPETEC da UFRJ em 2013; Comentar sobre a situação atual da bacia hidrográfica que drena para as lagoas recebendo águas tratadas transpostas, as convertendo em esgoto tratado parcialmente e entregado a totalidade das cargas para as lagoas de Itaipú e Piratininga; Recomendar sobre trabalhos de pesquisa que complementem na área da lagoa de Piratininga os trabalhos de perfilamento referenciados

ortométricamente, iniciados na década de 80 por Ireland. Discutir os ciclos do Sistema segundo os fatores de mudança acarretados por sucessivas intervenções que alteraram suas condições iniciais.

## **1.3 O Homem e as Lagoas**

### **1.3.1 Ocupação e Principais Ciclos Econômicos**

A pressão do homem sobre a vizinhança do ambiente lagunar de Itaipú e Piratininga começou ainda no início do Holoceno, com a chegada dos paleoíndios capazes na produção de utilidades líticas, valendo-se de ocorrências de basalto, gnaisse e quartzo da área. Caçadores-coletores incursionavam pelo litoral, deixando registros em vários pontos, inclusive em sambaquis em Itaipú. Os Sambaquis de Camboinhas, Duna Grande e Duna Pequena forneceram material para uma investigação cronológica acurada. Tais utensílios encontrados na região recuam para um período de aproximadamente 8000 anos BP, como início comprovado da presença destas populações.

A ocupação do litoral por povos indígenas recentes que viviam da caça, da pesca, da agricultura de subsistência e do aproveitamento dos recursos naturais disponíveis, deixou um legado de identificação de acidentes geográficos, que persiste até os dias de hoje. Tanto Itaipú como Piratininga são nomes indígenas, cujo significado é “Fonte das Pedras” para o primeiro (RESENDE, 1995) e “lugar de peixe seco” para o segundo ou ainda Lagoa de Mortandades (OLIVEIRA, 1948). A chegada do colonizador europeu no século XVI encontrou a costa brasileira como território no qual as tribos autóctones se movimentavam a procura de novos espaços a ocupar na medida em que os recursos naturais se exauriam pelas práticas de coleta, caça, pesca ou plantio.

O vasto território recém-descoberto representou um desafio à coroa Portuguesa quanto à proteção, colonização e exploração comercial. A nova terra foi dividida em Capitânicas Hereditárias. Segundo (SILVA, 2008) A Carta de doação, entre outras benesses, dava também uma Sesmaria de dez léguas da costa onde se deveriam fundar vilas, estabelecer o cultivo da cana de açúcar, construir engenhos, garantir a segurança e colonização através do povoamento, administrar, ministrar as leis e tratar da escravidão indígena. A primeira menção

de Piratininga é feita em um antigo mapa do Rio de Janeiro (região da Baía de Guanabara) em 1574.

Até o século XVIII a Igreja era imbricada com o Estado Português, e representava importante elemento de controle e registro das populações coloniais. No sistema lagunar estudado a Igreja de São Sebastião de Itaipu remonta a meados do século XVII, quando a freguesia de São Sebastião de Itaipu possuía quatro engenhos e seus habitantes eram índios, lavradores, e pescadores (CASTILHO, 200-?). Percorrendo a imensa região pela qual eram responsáveis, os padres Antônio Loureiro, Manuel de Araújo e José de Castro criaram várias freguesias e trataram de incentivar a construção de capelas, inclusive a de São Sebastião.

Segundo a Prefeitura de Niterói, em 1721, a igreja foi elevada à condição de paróquia independente e, por alvará de 12 de janeiro de 1755, foi criada a freguesia de São Sebastião de Itaipu. Apesar da existência de mapas razoáveis sobre a Província do Rio de Janeiro a partir de 1830, o sistema lagunar Itaipú Piratininga não era nomeado, havendo apenas o termo Piratininga na carta de 1574. A lagoa de Itaipú aparece oficialmente na “Carta Topográfica e Administrativa da Província de Rio de Janeiro, *erigida sobre os documentos mais modernos*” pelo Visconde Auguste Villiers de L’Isle-Adam, em 1850.

A lagoa tinha grafia diferente da atual chamando-se “Taipú”. Em 1861 foi publicada a “Carta Chorographica da Província do Rio de Janeiro”, encarregada aos engenheiros Pedro De Alcântara Bellegarde e Conrado Jacob de Niemeyer. Estas cartas serviram de suporte para a produção do “Atlas do Império do Brazil compreendendo as respectivas divisões Administrativas, Eclesiásticas, Eleitoraes e Judiciárias” produzido pelo então deputado da Assembleia Geral do Brasil, Almeida de Cândido Mendes e publicado em 1868. Lá as lagoas aparecem grafadas como “Certininga ou Pertininga e Itaipú”. Apesar do declínio econômico das práticas agrícolas, esta continuava a ser uma prática importante até a abolição da escravatura no final do século XIX. O início do século XX encontrou a região de Piratininga e Itaipú em relativo abandono.

As florestas se recompuseram por pouco tempo sendo novamente derrubadas para dar lugar a plantação de frutas cítricas na década de 30. Fungos

malograram os cítricos, cujas culturas foram abandonadas e substituídas pelo plantio da banana. A produção de carvão e lenha surgiu como nova atividade econômica comprometendo de maneira severa as reservas florestais. A todos estes ciclos as lagoas de Itaipu e Piratininga sobreviveram incólumes, pois suas restingas e lidos arenosos não se prestavam a nenhum tipo de exploração econômica.

### **1.3.2 Expansão Urbana**

Em função do relevo dobrado, a relativa proximidade as zonas urbanizadas de Niterói se traduzia em grande esforço para qualquer transporte economicamente viável em um regime que abolira a escravidão. O acesso à área restringia-se a trilhas estreitas, difíceis, usadas por tropeiros que conduziam sua produção para comercialização no lombo de mulas e cavalos, e excepcionalmente, em embarcações a remo e a vela. O autor em sua infância testemunhou a passagem dos tropeiros que apregoavam bananas, laranjas, tangerinas, aipim e o que mais que a estação produzisse, puxando suas mulas com os balaies de repletos. Eles vinham de regiões tão longínquas quanto Rio do Ouro.

Segundo (DA SILVA, 2011) a decadência da atividade agrícola e a proximidade com o mar predispuseram a região à especulação imobiliária. Em 1923 foi construída a primeira estrada ligando a Região Oceânica à zona sul e centro de Niterói, facilitando o acesso à região. Antigas fazendas cederam lugar a loteamentos a partir da primeira metade do século passado. A fazenda Itacoatiara foi uma das primeiras, dando lugar ao bairro que hoje ostenta o seu nome. Em 1943, através do decreto estadual nº. 51ª lagoa de Itaipú passou a ser propriedade particular da Companhia Territorial Itaipú S/A. O loteamento Cidade Balneária de Itaipú com cerca de dois mil e cem lotes dá início a urbanização do que viria a ser a Região Oceânica.

Em 1944 é apresentado pelo Prefeito de Niterói, Dr. Brandão Jr. O Plano Urbanístico da cidade, contemplando a expansão em direção as praias oceânicas. No “Estudo hidrobiológico das lagoas de Piratininga e Itaipú”, publicado pela Fundação Oswaldo Cruz em 1948, OLIVEIRA traça o perfil dos habitantes do em torno da Lagoa de Piratininga e de suas ocupações. “Os

pescadores, analfabetos todos, moram em barracões de pau trançado rebocados a barro, telhado de folhas de junco, feto e taboa; existem ao redor de toda a lagoa 38 habitações, entre casas e barracões. Não há pagamento de aluguéis de terreno, pois a parte noroeste da lagoa pertence ao Forte Imbuí e só com licença do comandante do Forte, é que os pescadores lá habitam.”

As 38 habitações viraram o bairro hoje conhecido como Jardim Imbuí, fruto da tendência de ocupação das praias oceânicas. Outros bairros surgiram como o Cafubá, Camboinhas, Engenho do Mato, Itacoatiara, Itaipú, Jacaré, Maravista, Piratininga, Santo Antônio e Serra grande. Todos estes 11 bairros formam a Região Oceânica de Niterói. O último censo do IBGE (2010) atribuiu uma população de 55.790 habitantes distribuída pelos onze bairros. Seguindo a expansão da população do município estimada pelo IBGE até 2016 (IBGE, 2017), e anualizando o índice, a estimativa da população da Região Oceânica até o término de 2017 seria algo como 57.200 habitantes. Esta é a ordem de grandeza atual da pressão antrópica local.

### **1.3.3 Interferências Antrópicas Relevantes no Sistema Lagunar**

(OLIVEIRA, 1948) descreve a dinâmica natural das lagoas de Itaipu e Piratininga quanto ao aporte de água salgada. Em seu *“Estudo Hidrobiológico das Lagoas de Itaipu e Piratininga”*, ele sugere que o coroamento dos lidos (parte do cordão litorâneo sobre a qual as lagoas extravasam naturalmente) de Itaipú e Piratininga situava-se em torno de setenta centímetros acima do nível médio do mar. Por ocasião das grandes marés de sizígia o mar passava por cima dos lidos, derramando-se sobre ambas as lagoas. Registra também a existência de um olho d’água salgada que durante a maré cheia minava aos borbotões na Ponta Comprida.

Segue descrevendo os mecanismos naturais nas fases nas quais as lagoas acumulavam água doce até que o coroamento de seus lidos fosse superado e extravasado. A superação dos lidos do mar para as lagoas e das lagoas para mar caracterizavam um equilíbrio hidrodinâmico sazonal e recorrente que perdurou até o início do século XX. Segundo (OLIVEIRA, 1948) havia grande mortandade de peixes até 1914 tendo este fenômeno diminuído entre 1914 e 1922 quando as lagoas passaram a ser sangradas mais

regularmente e o Serviço de Combate a Malária executou as primeiras valas ligando as lagoas de Piratininga e Itaipú.

O mesmo (OLIVEIRA, 1948) nota que a construção das valas propiciou o trânsito de peixes entre as lagoas, fato do qual se aproveitavam os pescadores. Consta que em dezembro de 1936, foram capturados quinhentos quilos de tainhas provenientes de Itaipu, cercadas a noite na Ponte do Jonjoca. Em 1946 o canal de Camboatá foi aberto pelo então Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS). A passagem de canoas por esta ligação quase não era mais possível ao final do ano de 1947, posto que o capim houvesse ocupado grande parte deste canal.

Em 1979 a Imobiliária Veplan executou na região da lagoa de Itaipu, o projeto urbanístico do arquiteto Henry Cole. O projeto rompeu o lido da lagoa, criando um canal permanente fixado por dois enrocamentos (guias correntes). A praia de Itaipu foi dividida em duas, sendo que a porção mais a oeste recebeu o nome de Camboinhas em alusão ao navio ali encalhado em 1958. A criação de uma barra permanente em substituição ao lido drenou e descaracterizou as lagoas de Itaipu e Piratininga. Nesta última as ilhas do Modesto e do Pontal, passaram a ser istmos e grandes áreas úmidas no entorno das duas lagoas passaram a ser objeto de ocupação.

A nova drenagem das lagoas definiu um regime de esvaziamento permanente no sentido Piratininga - Itaipú, limitado pela amplitude das marés e condições meteorológicas. A partir da década de 80 o sistema lagunar perdeu a capacidade de acumular águas dos cursos tributários e eventuais torrentes pluviais. Os dois lidos perderam suas funções naturais; o de Itaipú foi destruído e o de Piratininga abandonado, transformado em bota-fora, arborizado e ocupado por acesso a novas habitações edificadas em área de marinha. A incapacidade da Lagoa de Piratininga de receber aportes sazonais de água salgada contribuiu para sua eutrofização.

O dano ambiental resultante da falta de percepção e planejamento da autoridade pública encerrou o ciclo de manejo artesanal das águas através dos lidos, reduzindo a profundidade e o espelho d'água da lagoa de Piratininga, também reduzindo o espelho d'água da lagoa de Itaipu, mas aumentando sua

profundidade através de dragagens que resultaram em aterros e ganhos de áreas laterais. O início do século XXI encontrou a lagoa de Piratininga em avançado estado de eutrofização e o canal de Itaipú transformado em um delta de maré através da recomposição paulatina e inexorável do cordão holocênico em sua posição natural.

A solução sugerida para minimizar a situação da lagoa de Piratininga foi criar ligação permanente com o mar, não através do lido, mas por intermédio de um túnel de quase um quilômetro, escavado na rocha, ligando a lagoa ao mar. A obra de impacto foi concluída em 2008, com projeto diferente do original e a um custo muito mais alto. Após a conclusão do túnel foi efetuada dragagem, que usou a ilha do Tibau como parte do bota-fora, criou uma área mais profunda junto ao vertedouro do túnel. A lagoa passou a ter aporte de água salgada em regime permanente, regido por marés astronômicas e meteorológicas.

Atualmente as estruturas de controle de fluxo das águas no canal de Camboatá perderam a funcionalidade por falta de manutenção, o canal foi contornado e o fluxo é livre sem controle, seguindo principalmente na direção da lagoa de Itaipú. O nível da lagoa de Piratininga encontra-se igualmente limitado às condições de maré astronômica, às condições de vento, agitação do mar e precipitação pluviométrica. A baixa profundidade dificulta uma circulação eficiente da água salgada do Tibau para as áreas mais a leste da lagoa, ainda que a entrada de água salgada por dia seja em volume significativo.

#### **1.3.4 Eutrofização do Sistema e Colonização do Espelho D'água**

Segundo (RIBEIRO) eutrofização é um processo normalmente de origem antrópica, ou raramente de ordem natural, tendo como princípio básico a gradativa concentração de matéria orgânica acumulada nos ambientes aquáticos. Entre os fatores impactantes, contribuindo com a crescente taxa de poluição nestes ecossistemas, estão: os dejetos domésticos, fertilizantes agrícolas e efluentes industriais, diretamente despejados ou percolados em direção aos corpos hídricos. O conceito é de conhecimento da sociedade humana em seu relacionamento com o uso e gerenciamento do recurso água.

A considerar tal postulado, o sistema lagunar em estudo chegou à primeira metade do século XX em estado natural, sem interferência humana relevante,



fato registrado por Oliveira. A população de pescadores que habitava o entorno da lagoa de Piratininga era abrigada em trinta e oito habitações, entre casas e barracões, construídas de pau a pique (taipa de mão) e cobertas de folhas de junco (*androtrichum trigynum*), feto e taboa (*typha*). Na fração da lagoa pertencente ao Forte Imbuí os pescadores não pagavam aluguel, mas precisavam de autorização do comandante do Forte para ali permanecerem. Afirma também que “Nas lagoas não se derrama nenhum produto tóxico de fábrica, nem esgotos. A maior poluição é feita por fezes de boi e cavalos que pastam nas suas margens”.

Não obstante, dos registros da observação de OLIVEIRA realizada de março de 1946 a agosto de 1948, constam observações de águas estagnadas e negras próximas a ponte do Jonjoca em Piratininga, o canal de Camboatá com Ph em torno de 5, bodelhas e babugens, águas verdes, marrons e vasta flora micro e macroscópica habitando as lagoas. A vegetação aquática era nominada pelos pescadores como “lixo” por interferirem em suas produções. Quatro são citados como principais: O “lixo-capim” (*Rupia Marítima*), o “lixo-roseta” (*Chara Fragilis*), “lixo-peteque” (*Ulothrix Zonata*) e o “lixo-pau”, este mais genérico que segundo Oliveira designava vários caules de glumiflóreas. A *Typha* ou *Taboa* é espécie endêmica no sistema e usada eventualmente como material de cobertura pelos pescadores locais.

A condição da lagoa de Itaipú era diferente da de Piratininga, a começar pela salinidade. No período estudado por Oliveira as áreas das lagoas de Piratininga e Itaipú eram respectivamente 4,6 km<sup>2</sup> e 3,5 km<sup>2</sup>. Enquanto desaguavam em Piratininga quatro ribeiros pequenos em Itaipú desaguavam seis ribeiros sendo que o João Mendes era o mais volumoso. Com espelho e volume menores e recebendo maior aporte de água doce, a lagoa de Itaipú tinha salinidade menor que a lagoa de Piratininga. Oliveira afirma que a lagoa de Itaipú era mais rasa que a de Piratininga e apresentava “lixo-peteque”, “lixo-capim”, não possuía muito “lixo-pau” e nenhum “lixo-roseta”.

A distribuição desta flora na foz dos ribeiros que chegavam a Piratininga demarcava a transição da água salobra para a água doce. A alternância entre o enchimento paulatino das lagoas e o manejo de seus esvaziamentos propiciavam vários ciclos favoráveis ou desfavoráveis a suas floras. Nos ciclos

de “lagoa suja” as gramíneas do “lixo-pau”, morriam, desprendiam-se do fundo e vinham apodrecer na superfície, formando ilhas de material em putrefação chamadas bodelhas. O vento espalhava estas ocorrências pela lagoa dificultando ou mesmo impedindo a faina da pesca. Em novembro de 1947 o “lixo-roseta” eclodiu chegando a ocupar 500.000 m<sup>2</sup> na porção leste da lagoa, algo como 12,5% da superfície da lagoa naquela época. Dado relevante que registra a proliferação de carófitas em um ambiente ainda não comprometido pela presença humana. Segundo Oliveira, durante aquela florada as carófitas estariam oxigenando a água da lagoa. Na mesma lagoa, quarenta e oito anos depois, (RESENDE, 1995) faz observação sobre extensos bancos de macroalgas e macrófitas, predominantemente carófitas, disseminadas sobre o espelho d’água ao ponto de ocupar 70% da área, e peso seco estimado em cerca de mil toneladas. Atribui a exuberância daquela biomassa ao processo de eutrofização do sistema onde parte dos elementos biogênicos provenientes da bacia de drenagem estariam associados a matéria vegetal.

Até o final da década de 70 e início da de 80 ainda era feito o manejo da drenagem das lagoas através da abertura de seus lidos. (RESENDE, 1995) descreve a abertura da lagoa de Piratininga no lido da Prainha (também conhecida como Praia da Barra ou Mar Azul) através da abertura de vala de escoamento da lagoa, quando esta atingia níveis altos, cortando os acessos e invadindo as casas dos pescadores que ali habitavam. Com a abertura permanente da lagoa de Itaipu e a modernização do canal de Camboatá a abertura do lido de Piratininga deixou de ser factível pela limitação do nível de ambas as lagoas. A Prainha foi ocupada por acesso às casas construídas na encosta sul da Ponta do Papagaio, entulhado com areia e material de aterro. Atualmente o lido da Prainha está alteado, desfigurado e comprometido se for considerado como alternativa de drenagem rápida da lagoa de Piratininga.

Em 1992 a Prefeitura Municipal de Niterói construiu uma comporta no canal de Camboatá para controlar e estabilizar o nível da lagoa. (CUNHA; WASSERMAN, 2003) estudaram a lagoa de Piratininga pouco depois e notaram que a descarga descontrolada de esgoto doméstico elevou o estado de eutrofização, aumentando maciçamente a proliferação de macroalgas bentônicas, com comprometimento de sua profundidade. O prisma de maré era

o principal mecanismo de troca de água entre este sistema lagunar e o Oceano Atlântico (KJERFVE; MAGILL, 1989) e o tempo de renovação de águas (T50%) estimado para a Lagoa Piratininga antes da construção da comporta do canal era de 16 dias (KNOPPERS; KJERFVE; CARMOUZE, 1991).

Após a construção da comporta do canal, as estimativas de T50% aumentaram para 95 dias, como consequência da abertura e fechamento regular durante os ciclos das marés de inundação (CUNHA, 1996). Essa estimativa do tempo de permanência da água na Lagoa de Piratininga assume uma mistura ideal e não considera a geometria do ecossistema (a água do mar por ocasião da maré enchente limpa primeiro a Lagoa de Itaipu, depois o Canal de Camboatá e finalmente a Lagoa de Piratininga). Os tempos reais de renovação podem inclusive ter sido subestimados (ALVES; & WASSERMAN, 2002).

A eutrofização de lagoas costeiras superficiais normalmente promove o rápido crescimento de fitoplâncton e macroalgas, enquanto as microalgas bentônicas são progressivamente eliminadas devido à menor disponibilidade de luz (HERBERT, 1999) (KNOPPERS, 1994). No entanto, na Lagoa de Piratininga, naqueles anos, foi observada uma mudança da produção primária fitoplanctônica para macroalgas bentônicas (*Chara hornemanni*). A biomassa de macroalgas prevalecendo e consumindo todo o estoque de nutrientes, evitando assim que o fitoplâncton evoluísse em Piratininga (CARNEIRO *et al.*, 1994) (CUNHA, 1996).

Entre abril de 1994 e abril de 1995 foram registrados os principais parâmetros físico-químicos juntamente com a biomassa das macroalgas, a concentração de nutrientes na coluna d'água, o carbono orgânico particulado e a clorofila *a*. Os dados coletados foram comparados com a situação anterior à construção da comporta. A comparação dos resultados mostrou um acréscimo notável de nutrientes e clorofila *a* após a construção da comporta. A maior salinidade e concentração elevada de nutrientes indicaram que a abertura da comporta durante a maré enchente não era suficiente para "diluir" os estoques de N e P na coluna de água.

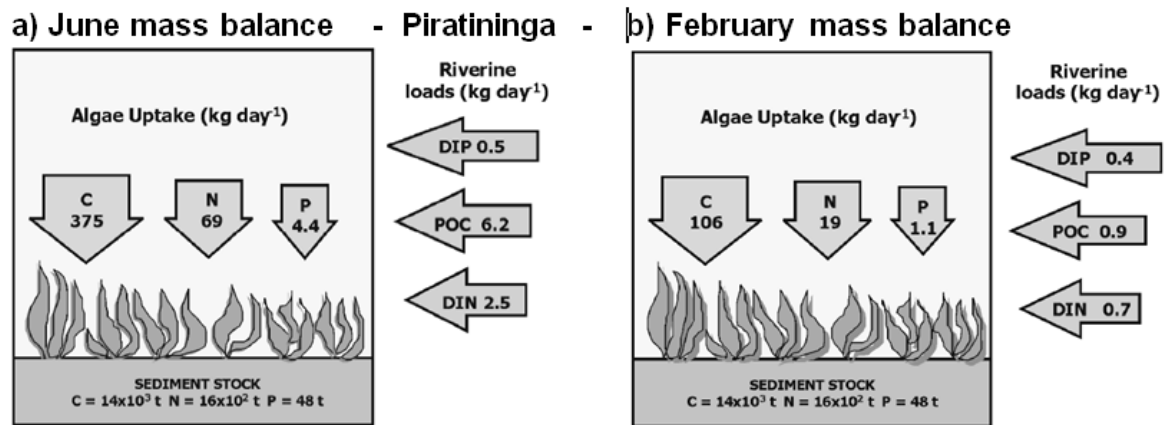


Figura 2 Extraído de (CUNHA; WASSERMAN, 2003).

A produção de chara hornemanni e a absorção de nutrientes sofrem mudanças durante o ano, como pode ser visto na Figura 2(a) e (b), mas o equilíbrio de nutrientes indica que não existem aportes suficientes por intermédio de rios ou na coluna de água para suprir as necessidades de algas. Isso leva à conclusão de que deve haver uma considerável reciclagem de nutrientes dentro do sistema coluna de água-alga-sedimento. (CUNHA; WASSERMAN, 2003).

Antes da construção da comporta, a descarga da água do mar no sistema, embora reduzida, desempenhava um papel importante na exportação de nutrientes para a lagoa adjacente de Itaipu e daí para o mar. Baseado no funcionamento do ecossistema, segundo aquela realidade, foi proposta por Wasserman uma colheita periódica da massa de algas antes de sua decomposição, de modo a remover parcialmente o estoque de nutrientes da lagoa, bem como propor a modelização futura do ecossistema visando prever os impactos naturais e antropogênicos sobre a eutrofização da lagoa. Contudo uma última intervenção veio modificar de maneira radical o panorama de prevalência das macrófitas bentônicas.

As obras do túnel do Tibau, ligando a lagoa de Piratininga ao mar em 2008 contribuíram para uma maior salinização, bem como em fixação do nível máximo desta lagoa. Nos trabalhos de campo nos anos de 2016 e 17 o autor, acompanhado de seu orientador Gilberto Tavares de Macedo Dias, do pesquisador Rafael Cuellar e do pescador "Vandeco" percorreram a lagoa de Piratininga e seus arredores inúmeras vezes. Nestas incursões observaram-se águas mais claras nas proximidades do Tibau, esverdeadas e turvas no meio da

lagoa e no canal de Camboatá; circulação preferencial da lagoa de Piratininga em direção à lagoa de Itaipú.

Apesar do aumento da pressão populacional em seu entorno, e consequente eutrofização de seu espelho d'água a lagoa de Piratininga encontra-se piscosa, porém não foi encontrado nenhum sinal de “lixo-peteque”, “lixo-capim”, “lixo-pau” ou “lixo-roseta” e a única lembrança de sua flora do século passado são as taboas, principalmente em sua margem sul.

### **1.3.5 Registros e Referências Pretéritas do Nível das Lagoas**

Existem referências a uma régua linimétrica colocada pelo Comando do Forte Imbuí perto da Laje Barra da Lagoa em 1911, que em 1946 seria inservível. As medições mais antigas dos níveis da lagoa de Piratininga ao alcance desta pesquisa foram registradas por (OLIVEIRA, 1948) entre 1946 e 1948. As medições foram feitas em uma régua linimétrica, referida ao Nível Médio do Mar e posicionada em frente a Ilha do Modesto. Mais importante do que a acuidade das medições é a possibilidade de verificar com exatidão a taxa de enchimento da lagoa naqueles anos, ainda em seu estado natural de fechamento. É também possível ter uma perfeita ordem de grandeza dos níveis máximos atingidos naquela época.

OLIVEIRA ainda procedeu a equivalência de sua régua linimétrica com marcas perenes deixadas gravadas em diferentes rochas ao longo da lagoa. Tais marcas tem o sugestivo nome de “deixas”. As deixas as quais Oliveira se refere estão registradas na Pedra do Bananal, nas pedras da Ilha do Modesto, nas pedras perto do Morro do Boqueirão e em outras pedras ao redor da lagoa.

OLIVEIRA nesta mesma página referencia “*3 linhas de deixa: uma a 1,20m até 1,30; a outra a 1,42 m, e a mais alta a 1,61m. De 1,20 a 1,30 é o nível comum quando sangram a lagoa. O máximo excepcional 1,60m*”. As deixas citadas e referenciadas por OLIVEIRA existem em outros pontos da lagoa de Piratininga com maior ou menor clareza. A Pedra das Marrecas (Figura 3), a oeste da Ilha do Pontal é um exemplo, onde várias deixas estão ainda marcadas.

Durante os trabalhos de batimetria e reconhecimento do perímetro da lagoa de Piratininga, muitas deixas reproduzindo os mesmos níveis citados por

OLIVEIRA foram encontradas. Dentro da lagoa e na base do morro do Boqueirão uma série de pedras reproduz os níveis e as cores das deixas exibidas na pedra das marrecas, como na Figura 3 “Linhas de Deixas” na Pedra das Marrecas. Fotografia tirada em 02/2017. Figura 3.



Figura 3 “Linhas de Deixas” na Pedra das Marrecas. Fotografia tirada em 02/2017.

Ireland (1988), em sua tese de doutorado *Holocene coastal change in Rio de Janeiro state, Brazil*, faz observações sobre a Lagoa de Piratininga (IRELAND, 1988). Ele levantou dados junto a Secretaria de Rios e Lagos (SERLA) sobre o monitoramento do nível da lagoa de Piratininga entre os anos de 1980 e 1982. Estes dados quando reduzidos ao mesmo referencial e comparados com outros levantados por Oliveira entre 1946 e 1948 já indicam alteração quanto à capacidade de retenção de água da lagoa. A lagoa de Itaipu, quanto a dados relativos à sua profundidade e sedimentologia anterior a abertura permanente da barra foi publicado por (MUEHE; & ALBURQUERQUE, 1976).

### 1.3.6 Taxas de Sedimentação do Sistema Itaipu-Piratininga

Resende (1995) determinou que a razão de sedimentação nos últimos cem anos para a lagoa de Piratininga, calculada através de datação por  $^{210}\text{Pb}$ , foi de 0,13 cm/ano, até 1995. Em sua exposição afirma que esta taxa seria compatível com aquelas encontradas por Rusnak (1960) para a lagoa de madre

no Texas, por Skempton (1970) nos estuários de Tilbury e Avonwouth, e outros, Já Huang et al (1993) calcularam um valor discrepante e significativamente maior, da ordem de 0,4 cm/ano. (LAVENERE-WANDERLEY, 1999) datando também através da análise de  $^{210}\text{Pb}$ , encontrou taxa de sedimentação de 0,28 cm/ano para a lagoa e Itaipú, nos últimos cem anos. Ireland (1988) em um trabalho metódico e extenso no qual realizou estudos dos sedimentos, de diatomáceas e 25 datações de turfa por carbono 14 ( $\text{C}^{14}$ ) conclui que a razão de sedimentação na lagoa de Itaipú não foi maior do que 3 cm em 100 anos ou 0,03 cm/ano.

(KNOPPERS; EKAU; FIGUEIREDO, 1999) determinou que a taxa de sedimentação da biomassa algal, Potássio e Fósforo durante um ciclo de crescimento, pico da biomassa de decomposição das carófitas é de 0,8 cm/ano na lagoa de Piratininga. Oportunamente cada uma destas taxas será aplicada a um mesmo intervalo de tempo e os resultados comparados e discutidos em relação às percepções, convencimentos e afirmações quanto ao assoreamento do sistema lagunar Itaipú Piratininga.

#### **1.4 Sobre Regulação das Águas**

O Sistema Lagunar Itaipú Piratininga está sujeito a um elenco de leis Federais, Estaduais e Municipais e por estar situado em ambiente costeiro e ter suas duas lagoas perenemente ligadas ao Oceano Atlântico, sujeita-se eventualmente a convenção internacional sobre o uso do Mar. No contexto da comunidade internacional, o Brasil ratificou em 22 de dezembro de 1988 a convenção de Montego Bay oficialmente denominada “*United Nations Convention on the Law of the Sea*” (UNCLOS) assinada em 10 de dezembro de 1982, também conhecida no Brasil como “Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar”. Através do Decreto No 99.165, de 12 de março de 1990, a Presidência da República determinou que a UNCLOS anexada ao Decreto, fosse cumprida “tão inteiramente como nela se contém”.

A questão relativa às águas e a discriminação de a quem é atribuída qual responsabilidade é inicialmente regulada pela Constituição Federal de 1988, CAPÍTULO II DA UNIÃO, artigo 20, que dispõe sobre os bens da União; no CAPÍTULO III DOS ESTADOS FEDERADOS o artigo 26 define quais são os

bens dos Estados. Estes dois artigos criam a figura dos rios da União e rios dos Estados Federados. Segundo uma base cartográfica de 1:1.000.000, existem cerca de 12.000 rios no Brasil. A Serra do Mar que começa no Rio Grande do Sul e termina no Ceará define uma grande quantidade de cursos d'água de âmbito eminentemente Estadual os quais formam pequenas bacias, que por sua vez contém a maioria dos sistemas lagunares costeiros do Brasil.

A necessidade de administrar estas muitas águas de modo mais eficiente, obrigou pesquisa sobre modelos de lei que versassem sobre gestão dos recursos hídricos. O modelo francês foi adotado, transformando-se na Lei 9433 de 08/01/1977 que institui a POLITICA NACIONAL DE RECURSOS HIDRICOS, fundamentando-se em que a água é um bem de domínio público, recurso natural limitado e dotado de valor econômico, que a prioridade de seu uso é o consumo humano e a dessedentação de animais, que sua gestão deve sempre contemplar usos múltiplos, que a BACIA HIDROGRÁFICA É A UNIDADE TERRITORIAL PARA IMPLEMENTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS e atuação do SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. Ainda em seu Art. 1º a lei determina que “a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”

Em 02 de agosto de 1999 o Governo do Estado do Rio de Janeiro sanciona a Lei Estadual 3239 que institui a POLITICA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Em 7 de dezembro de 2004 é instituído o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC através do DECRETO nº 5.300 definindo as normas gerais visando a gestão ambiental da zona costeira do país, estabelecendo as bases para a formulação de políticas, planos e programas federais, estaduais e municipais. O PNGC estabelece diversas distancias regulatória, inclusive quanto ao uso do solo, a partir da Linha de Base, cujo conceito foi criado na UNCLOS. O Governo do Estado do Rio de Janeiro institui o COMITÊ DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BAIÁ DE GUANABARA E DOS SISTEMAS LAGUNARES DE MARICÁ E JACAREPAGUÀ em setembro de 2005, através do Decreto nº 38.260 que em seu §3º inclui a lagoa de Itaipú na abrangências da sua fase inicial. A RESOLUÇÃO CERHI-RJ Nº 63, de 29 de junho de 2011 que DISPÕE SOBRE A CRIAÇÃO DE SUBCOMITÊS NA



REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BAIÁ DE GUANABARA, autorizou a implementação do Subcomitê do Sistema Lagunar Itaipú-Piratininga, atualmente é conhecido como CLIP..

## 1.5 Organização do Trabalho

### **O trabalho está organizado em capítulos, a saber:**

Capítulo 2 **Referencial Teórico**. Remete aos fundamentos de cada área do conhecimento que será abordada para consecução dos objetivos;

Capítulo 3 **Metodologias, Equipamentos e Materiais**. Cobre o uso de equipamentos, as metodologias e materiais para a aquisição de dados;

Capítulo 4 **Discussão dos Resultados**. Comenta uma síntese do conhecimento sobre a evolução do sistema lagunar, discute a condição da lagoa de Piratininga em função da drenagem permanente do canal de Camboatá e após a construção do túnel do Tibau, ligando a lagoa ao mar, em função das reambulações e nivelamentos ortométricos realizados. Apresenta e discute a conversão dos dados altimétricos observados por (OLIVEIRA, 1948) para base ortométrica. Discute o assoreamento das lagoas de Itaipú e Piratininga, corrige a partir das reambulações a base georeferenciada LiDAR para base ortométrica, aplica as observações de Oliveira através da base de dados LiDAR corrigida para a determinação dos níveis mínimos de inundação no entorno do sistema lagunar e geração dos respectivos mapas, comenta o projeto da COPPETEC proposto para o sistema lagunar.

Capítulo 5 **Conclusões**. Tece outras considerações decorrentes do trabalho e apresenta através de ilustrações e comentários sumários, o que seriam os principais ciclos do sistema lagunar deste os primeiros registros de intervenções em 1922, até 2017.

## 2 Referencial Teórico

A elaboração da presente argumentação em sua introdução limitou o campo de estudo a seus limites geográficos determinando a área da bacia hidrográfica, e temporalmente quanto ao Período Quaternário, onde eventos Holocênicos eventualmente se superpõe a Pleistocênicos. (SILVA *et al.*, 2000) em seu trabalho GRANULADOS LITOCLÁSTICOS define o principal elemento de constituição dos cordões arenosos costeiros (barriers), bancos de areia submersos, planícies costeiras de cristas de praia e faz alusão a lagunas e deltas de maré, ambos objetos centrais deste estudo.

Segundo (SILVA *et al.*, 2000) os sedimentos litoclásticos são resultado do intemperismo e erosão de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares sendo posteriormente transportados para os ambientes litorâneos pelos rios, geleiras ou pelo vento. Na linha de costa os minerais mais resistentes (resistatos) são concentrados pelos agentes marinhos que promovem a deposição na foz de rios, planícies costeiras, praias e plataformas continentais em suas partes internas.

Conforme a definição de (EMERY, 1952) (EMERY, 1968), a maioria dos depósitos litoclásticos são de areias relíquias, isto é, “areias remanescentes de ambiente anterior, distinto do atual”. Estas areias foram depositadas na plataforma continental por processos continentais associados a canais fluviais, durante eventos pretéritos de rebaixamento do nível do mar que ocorreram em períodos glaciais. Nestas fases, quase toda a plataforma continental estava exposta e os depósitos fluviais se estendiam até a atual plataforma continental externa, ou mesmo atingiam a região de borda da plataforma e o talude continental através de cânions submarinos.

Silva segue dizendo que estes depósitos de nível de mar baixo podem ter sido parcialmente retrabalhados e afogados pelos diferentes eventos transgressivos que ocorreram durante o Período Quaternário, sendo então denominados de sedimentos “palimpsestos” (SWIFT; STANLEY; & CURRAY, 1971). Os granulados litoclásticos são retrabalhados pelos agentes oceânicos como as ondas, correntes marinhas e de maré. Este processo origina os principais tipos de depósitos arenosos costeiros como os cordões litorâneos,

ilhas barreiras, bancos de areia de desembocadura fluvial que compõe a frente deltaica e os deltas de maré enchente e vazante comumente presentes nas desembocaduras de canais de maré de sistemas lagunares.

Silva ainda diz que nas plataformas continentais em todo o mundo, a maioria dos depósitos litoclásticos é decorrente das mudanças do nível de mar relativo, que causaram a migração da linha de costa e a exposição ou afogamento da plataforma continental, respectivamente durante os eventos regressivos e transgressivos que se sucederam ao episódio de sedimentação. A estes eventos associam-se os processos de retrabalhamento, acúmulo, dispersão e seleção granulométrica dos sedimentos. Em associação com os eventos de subida e descida do nível do mar, são reconhecidos, na planície costeira, dois principais arranjos estratigráficos, que correspondem respectivamente às sequências marinhas transgressivas e regressivas.

Nas primeiras, a linha de costa é demarcada por cordões arenosos litorâneos (*barriers*) e/ou ilhas barreiras (*barrier islands*) que, durante o curso transgressivo, migram em direção ao continente, superpondo-se aos sistemas lagunares e estuarinos como na Figura 4. As sequências regressivas associam-se a linhas de costa progradantes, onde ocorrem sistemas, ou planícies de cristas de praia que progradam em direção ao oceano, recobrando lamas ou areias relíquias de plataforma.

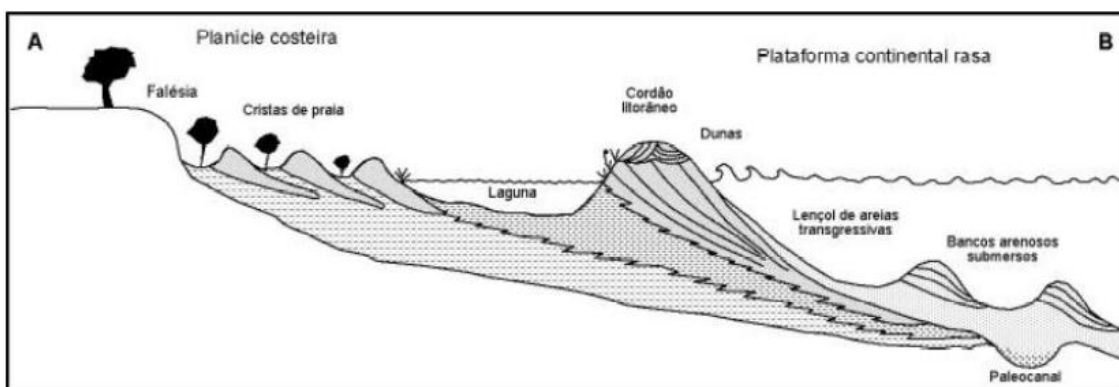


Figura 4 Formação lagunar por barreira litorânea. Cedida por Silva (SILVA *et al.*, 2000).

Durante os eventos de transgressão marinha, estes sistemas litorâneos são também retrabalhados pelas ondas, correntes marinhas e correntes de maré, remanescendo como depósitos arenosos na plataforma continental. Nestas fases transgressivas, o deslocamento do cordão arenoso litorâneo em

direção ao continente gera um lençol de areias transgressivas, cuja espessura diminui em direção à plataforma continental externa.

A redistribuição das areias na plataforma pelas ondas e correntes marinhas pode dar origem a cristas arenosas de grandes dimensões, que podem apresentar quilômetros de largura por dezenas de quilômetros de extensão e alturas variando entre 5 e 10 metros (FIGUEIREDO-JR, 1984). Sua composição varia de areias médias à finas com cascalhos nas depressões entre cristas. Estas são comuns em plataformas largas, de baixo gradiente, associadas a planícies costeiras amplas e em áreas de micro a meso marés (SILVA *et al.*, 2000).

## **2.1 Sobre Lagoas Costeiras**

Em seu livro “*Coastal Lagoon Processes*” (KJERFVE, 1994) define lagoas como corpos d’água interiores, encontrados em todos os continentes, normalmente orientados paralelamente à costa, separados do oceano por uma barreira, ligados ao oceano por uma ou mais entradas restritas que permanecem abertas pelo menos intermitentemente e têm profundidades de água que raramente excedem alguns metros. Uma lagoa pode ou não estar sujeita à mistura de águas das marés e a salinidade pode variar de um lago costeiro de água doce a uma lagoa hipersalina, dependendo do equilíbrio hidrológico. As lagoas formaram-se como resultado do aumento do nível do mar principalmente durante o Holoceno e a construção de Barreiras por processos marinhos. Afirma também que elas são frequentemente sistemas produtivos e ideais para projetos de aquicultura, mas ao mesmo tempo, são meios altamente estressados por insumos antrópicos e atividades humanas.

Para (CATANZARO *et al.*, 2004) as lagoas representam quinze por cento de toda a zona costeira mundial, estando entre os ecossistemas mais produtivos da biosfera. A utilização das lagoas para pesca, extrações minerais, recreação e outros usos humanos, pode impactar estes corpos d’água de maneira profunda e em alguns casos, de modo irreversível (BARROSO, 2000).

As linhas de costas sedimentares têm as suas formas determinadas principalmente pela variação do nível médio relativo do mar (nível de base). Os componentes mais importantes na alteração do litoral, a transgressão (elevação)

ou regressão (rebaixamento) do nível relativo do mar (nível de base), determinam respectivamente processos de retrogradação (erosão) ou progradação (sedimentação) da linha de costa. As plataformas continentais com pequenas inclinações (gradientes) propiciam o acúmulo de material arenoso, que retrabalhados pelas ondas dão origem aos sistemas conhecidos como barreiras (barriers) ou cordões litorâneos.

As barreiras costeiras são os elementos deposicionais mais importantes de costas com baixos gradientes, dominadas por ondas. Ocorrem em todo o mundo, especialmente nas costas de topografias mais suaves e onde os sedimentos tendem a ser mais abundantes. Apesar do grande número e variedade de definições, parece haver um consenso de que uma barreira costeira é uma estrutura paralela à costa, formada por um acúmulo de areia, cascalho, conchas devido principalmente à ação de ondas, e retrabalhadas por marés e ventos. (DILLENBURG; HESP, 2009).

(DIAS; KJERFVE, 2009) postulam que em geral, as barreiras costeiras estão relacionadas com níveis transgressivos do mar. Por outro lado, formam-se cristas de praia (beach ridges) durante a progradação costeira, relacionadas ao suprimento de sedimentos fluviais ou queda relativa do nível do mar. (HAYES; KANA, 1976) resumiram os três principais modelos prevalentes de formação de barreiras (i) evolução a partir de uma barra offshore (BEAUMONT, 1845), (ii) progradação de pontais arenosos (GILBERT, 1885) (FISHER, 1968), e (iii) destacamento de praia continental (HOYT, 1967).

Segundo (DIAS; KJERFVE, 2009), dentre as unidades geomorfológicas únicas, peculiares à costa do Estado do Rio de Janeiro, encontra-se a planície sedimentar fluminense de baixa altitude. Esta é caracterizada por um conjunto de barreiras duplas que separam uma série de lagoas costeiras e baías do Oceano Atlântico. Entre elas estão a barreira de areia de Marambaia (restinga), que define a Baía de Sepetiba, várias barreiras mais curtas entre afloramentos cristalinos, separando os oceanos dos sistemas Jacarepaguá, Marapendi, Rodrigo de Freitas, Marica, Garapina e Saquarema. Neste universo encontra-se também o sistema lagunar Itaipú-Piratininga, objeto deste trabalho. A gênese do sistema lagunar em pauta será considerada segundo o tempo geológico do

período Quaternário que vai do Pleistoceno há 1,8 milhões de anos atrás até o Holoceno que começa há aproximadamente dez mil anos até os tempos atuais.

Os aproximadamente duzentos quilômetros de extensão da costa sedimentar entre a península da Marambaia e Cabo Frio tem alinhamento pronunciadamente Leste-Oeste. Como a drenagem continental principal também segue em geral a orientação Leste-Oeste, não há aporte de água ou de sedimento fluvial significativo para os sistemas costeiros. Este trecho da costa é caracterizado por um sistema de barreiras arenosa maciças, paralelas a linha de costa e paralelas entre si, evidenciando duas fases de desenvolvimento transgressivo, como dito anteriormente por Dias e Kjerfve, 2009. Evidências recentes sugerem que a barreira interna é do Pleistoceno e a barreira externa (mais próxima da linha de costa) é do Holoceno. O modelo atual considera um único evento transgressivo durante o Holoceno, o que é consistente com os modelos de ajuste hidroisostático aplicados a outras regiões (CLARK; FARRELL; PELTIER, 1978) (MILNE; LONG; BASSETT, 2005), confirmando assim uma idade pleistocênica para a barreira interna. Além disso, a datação absoluta realizada nas lagoas inter-barreiras comprovou uma idade Holocênica (TURCQ *et al.*, 1999). Portanto, se a barreira interna mais antiga migrou para o interior durante um aumento transgressivo do nível do mar este evento só poderia ter sido durante a transgressão marinha do Pleistoceno, há 123 mil anos (DIAS; KJERFVE, 2009).

As praias atuais da costa ora em estudo estão localizadas ao lado sul das barreiras duplas. As barreiras ao longo do litoral são interrompidas pela entrada da Baía de Guanabara, mas se estendem de modo submerso por um extenso banco arenoso, adjacente à barra da baía (KJERFVE *et al.*, 1997). As barreiras em Piratininga, Camboinhas, Itaipu e Maricá / Guarapina são resultado da fusão das duas barreiras ou da erosão da barreira mais terrestre (TURCQ *et al.*, 1986) (MUEHE; CORREA, 1989). No caso das praias de Itaipú e Piratininga a fusão das barreiras define duas lagoas de mesmos nomes.

A Figura 5. mostra uma classificação das lagoas costeiras em função da importância relativa da ação das marés e das ondas. A tipificação possibilita considerações sobre a geomorfologia de cada um dos sistemas e suas componentes dominantes.

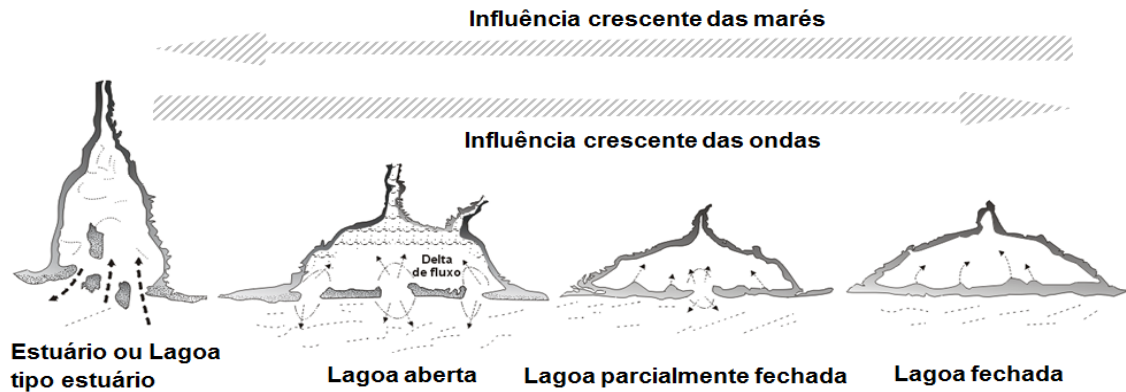


Figura 5 Relação entre o tipo de lagoa e a dominância do litoral. Cedida por Dias, G. T. M.

A Figura 5 mostra a relevância da influência das correntes de marés, de maneira decrescente da esquerda para direita. O estuário em regiões de macro marés representa a maior troca de água, com grandes volumes associados a velocidades tais que garantem a abertura permanente dos acessos ao estuário lagoa. À medida que decresce a amplitude da maré, aumenta a importância relativa das ondas até o ponto em que os canais (*inlets*) são facilmente fechados. Os tipos de lagoa fechada e lagoa parcialmente fechada serão objeto de algumas últimas considerações nesta parte dos fundamentos.

As lagoas estudadas encontravam-se na condição de lagoas fechadas até a segunda metade do século passado. Nas regiões em estudo o topo do cordão litorâneo externo não ultrapassa os três metros acima do nível médio do mar (NMM). Nas áreas onde eventualmente as lagoas extravasavam sobre os cordões, esta altura era menor pela recorrência do evento. Estas regiões mais baixas e de comunicação preferencial entre as lagoas fechadas e o mar é denominada Lido.

Por ação antropogênica o status quo de sistemas lagunares fechados no litoral do Estado do Rio de Janeiro muitas vezes foi alterado. Os lidos antes manejados artesanalmente pelos habitantes locais passam a ser alterados, com a construção de enrocamentos que definem guias entre as quais é dragado um canal com intenção de que seja permanente. A criação de um canal artificial ligando o mar a uma lagoa tem impacto sobre as condições iniciais das lagoas quanto a profundidade, circulação, condições físico-químicas, ecossistema e introduz mais uma variável ao sistema dando origem aos deltas de maré.

A ligação da lagoa com o mar passa a interferir com os processos morfodinâmicos os quais por sua vez passam a interagir com o canal. Segundo (WRIGHT; THOM, 1977) *apud*: (CARTER; WOODROFFE, 1994) a morfodinâmica é o ajuste continuado do relevo submarino por ação das forças hidrodinâmicas que transportam os sedimentos, de maneira continuada. Para (COWELL; THOM, 1994) as alterações resultantes da evolução costeira podem ser verificadas em diferentes escalas espaciais e temporais influenciadas pela intensidade com a qual um determinado fenômeno ocorra e o tempo decorrido para tal. Para definir tais escalas eles convencionam quatro intervalos de tempo, os quais teriam uma tradução livre do tipo: *Tempo Instantâneo* (intervalo de tempo variando de segundos a muitos dias ou semanas), *Tempo dos Eventos* (variando de poucos dias a muitos anos), *Tempo das Engenharias* (variando de poucos meses a séculos) e *Tempo Geológico* (que opera de décadas a milênios). O resultado imediato da perenização da ligação sistema lagunar-Oceano foi a consequente formação de um “delta de maré enchente” como na Figura 6.

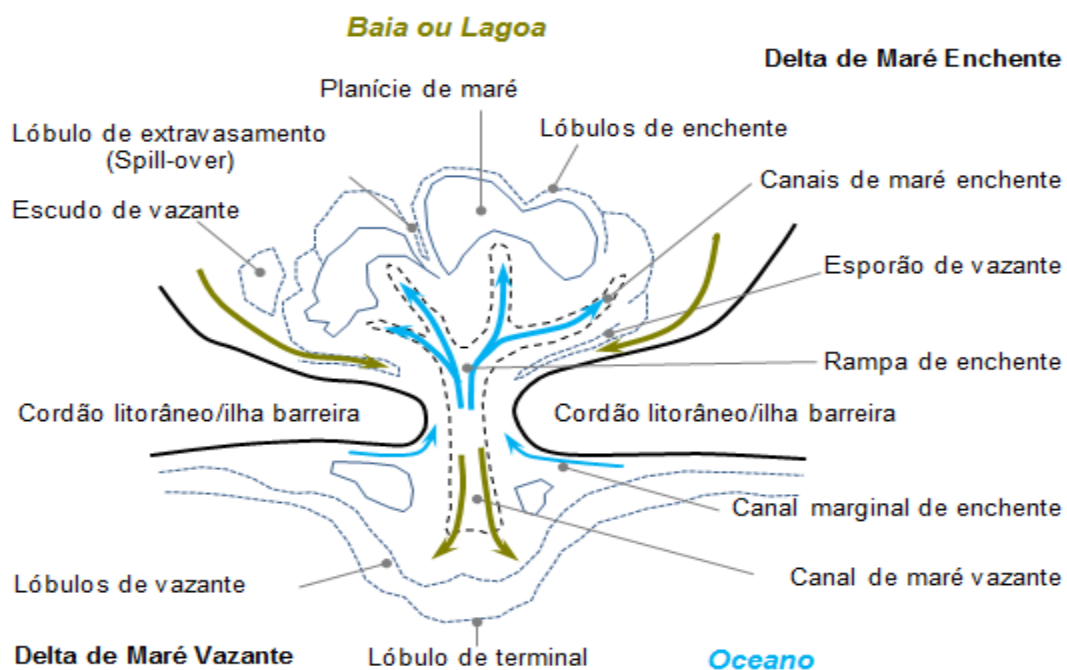


Figura 6 Deltas de Maré. Adaptado de (BOOTHROYD, 1985).

A interferência da abertura de um canal ligando uma lagoa ao oceano resulta na interação morfodinâmica dos processos lagunares, antes restritos ao sistema lagunar, com os processos costeiros. A tentativa de fixação de tais canais nem sempre têm êxito, mas o impacto perceptível sobre o meio ambiente

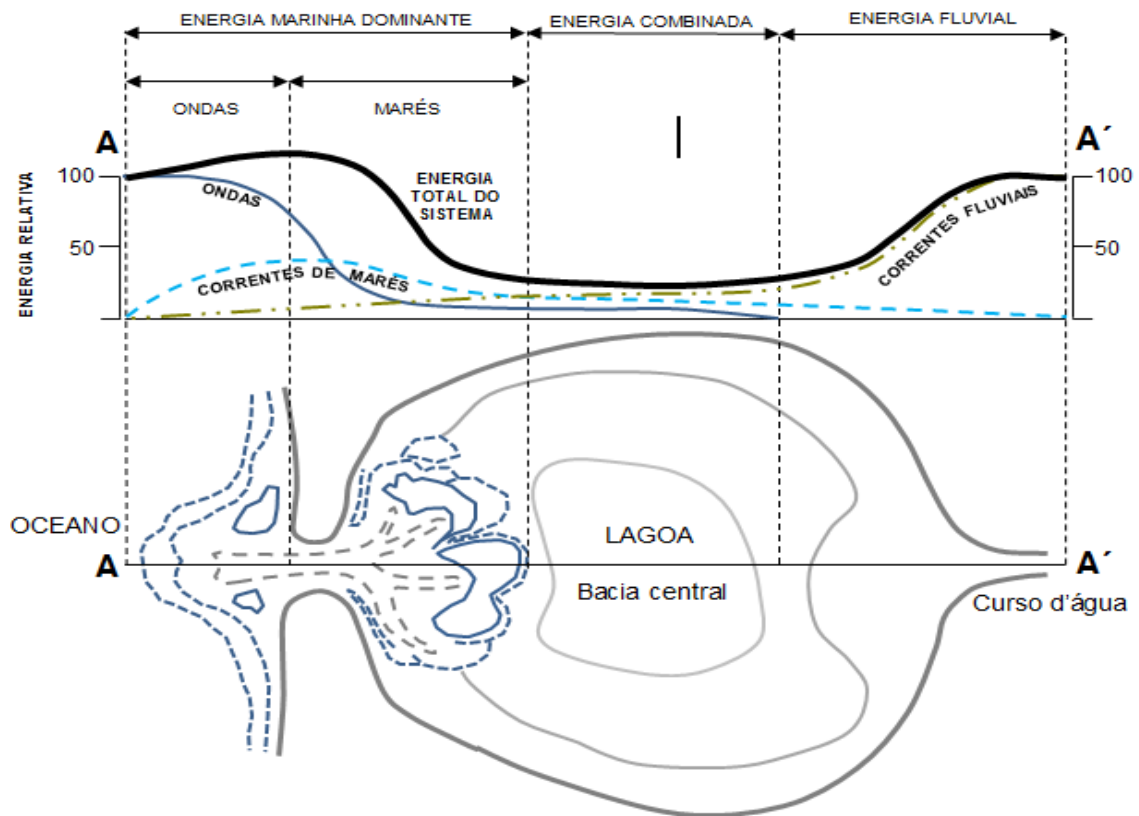


adjacente estaria compreendido entre as escalas de tempo que vão do *Tempo Instantâneo*, ao *Tempo das Engenharias*.

No caso de lagoas costeiras ligadas ao oceano que recebam alguma drenagem continental, este caudal, por menor que seja, passa a interagir com as outras principais componentes de origem marinha quais sejam ondas e marés. As três componentes variam de intensidade com o tempo sendo que as ondas variam também de direção. (BOOTHROYD, 1985) ao analisar a atuação de cada componente agindo em um ambiente estuarino bloqueado por uma barreira e dotado de um delta de maré enchente propôs um sistema que pode ser estendido a uma lagoa ligada ao mar, com delta de maré enchente e recebendo um ou mais cursos d'água como na Figura 7 (a), em planta.

Outras componentes eventuais, mas intensas se somam de tempos em tempos ao sistema proposto, empregando mais complexidade à análise dos seus impactos à morfologia do ambiente. Situam-se nestes casos as marés meteorológicas e suas ressacas, ventos intensos e chuvas torrenciais nas lagoas ou nas cabeceiras de suas bacias. As ressacas e as chuvas torrenciais podem se tornar eventos extremos implicando em mudanças igualmente importantes no relevo subaquático lagunar com alterações notáveis nas feições morfológicas dos deltas de maré, na topografia das vizinhanças e deixando registros faciológicos como testemunhos dos eventos.

O volume de água que passa pelo canal por ciclo de maré é conhecido como Prisma de Maré. A forma da bacia atrás do cordão litorâneo define sua área a qual associada à amplitude da maré determina o prisma de maré. O tamanho do canal está associado ao prisma de maré (O'BRIEN, 1931) e ao tamanho do Delta de Maré Vazante (GUILD *et al.*, 1976) (ELIAS; STIVE, 2006). Desta forma o Prisma de Maré é definido pela fórmula  $P = 2h \times Ab$  onde  $h$  é a amplitude da maré e  $Ab$  é a área média da bacia atrás do cordão litorâneo, sendo aquela situada a meio caminho entre a baixa-mar e a preamar.



**Figura 7 Componentes morfológicas em lagoa com rios. Adaptado de Boothroyd 1985.**

Na parte inferior da Figura 7 estão representadas as principais componentes da morfodinâmica de um sistema lagunar ligado ao oceano e com aporte fluvial. O perfil da seção transversal AA' apresenta a região externa dominada pelas ondas, o canal que potencializa as marés, a bacia central onde as energias são distribuídas e ao fundo um curso d'água. A importância dos cursos d'água se dá pelo possível aporte de sedimentos continentais e, dependendo das suas vazões, por fluxos complexos e turbulentos onde a diferença de densidades entre as águas da região estuarina, da baía e do canal interagem.

.As lagoas costeiras são frequentemente impactadas por influências naturais e antropogênicas (MEE, 1978) (SIKORA; KJERFVE, 1985). Elas sofrem a afluência de rios, drenagens urbanas, influência de ventos, marés, precipitações pluviométricas e outras componentes, respondendo de maneira peculiar às suas próprias características. A salinidade, a qualidade da água da lagoa e a eutrofização dependem criticamente da circulação da lagoa, a dispersão dos sólidos em suspensão e da salinidade, a troca de água com o

oceano através de canais, a taxa de renovação, tempo de residência ou tempos de descarga.

(KJERFVE, 1994) diz que as oscilações das marés em lagoas parcialmente fechadas são frequentemente reduzidas para 5% ou menos em comparação com a maré costeira adjacente. Lagunas costeiras parcialmente fechadas são caracterizadas por longos períodos de descarga, influência dos ventos dominantes, eventos de estratificação intermitente da coluna d'água devido à radiação solar intensa ou eventos de escoamento de cursos fluviais (runoff). Em regiões áridas ou semiáridas do mundo, as lagoas costeiras parcialmente fechadas tornam-se com frequência permanentemente ou temporariamente hipersalinas (COPELAND, 1967) (MOORE; SLINN, 1984). Lagunas parcialmente fechadas são orientadas principalmente paralelamente à costa, mas às vezes também são encontradas associadas a deltas de rios e, ocasionalmente, orientadas ortogonalmente a costa.

### **2.1.1 Sobre a Formação Geológica e a Evolução do Sistema Lagunar**

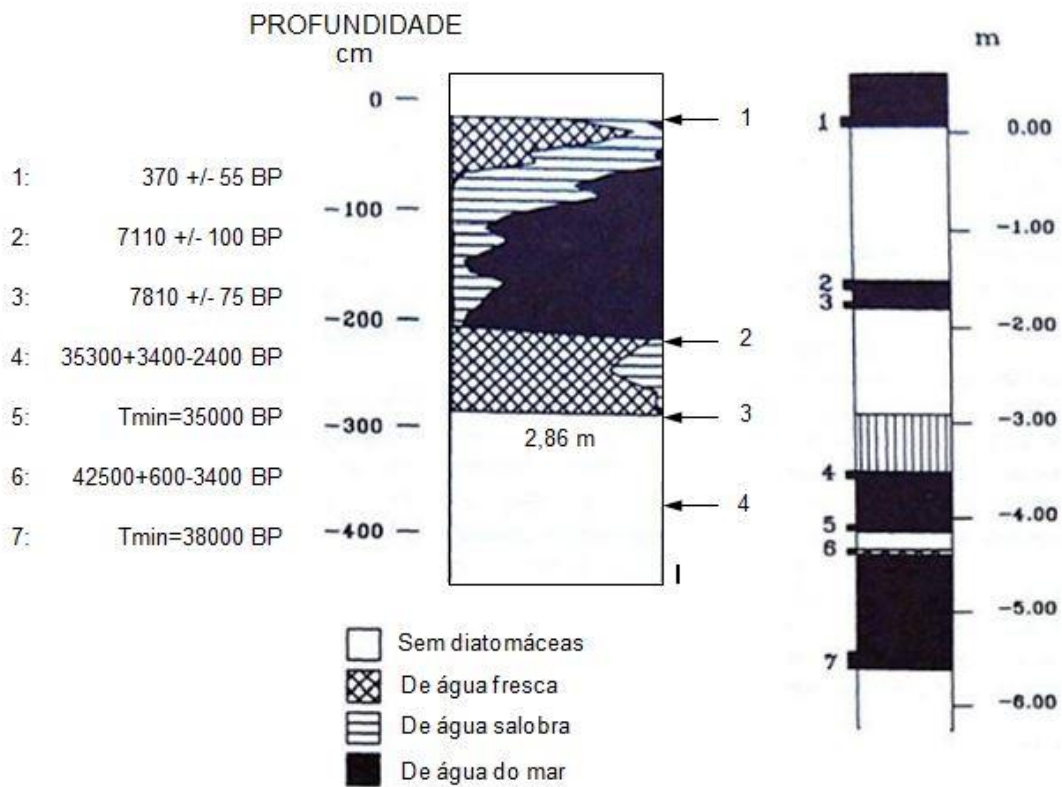
A evolução do litoral mundial foi muito influenciada pela mudança dos níveis relativos entre as massas de terra e do mar, propiciando que processos marinhos trabalhassem sobre a grande variedade de ambientes costeiros. O estabelecimento físico das lagoas costeiras recentes é o resultado da submersão das bordas continentais durante o Holoceno, quando uma transgressão marinha em escala mundial acompanhou a melhoria do clima global. O conseqüente derretimento de grandes volumes de neve, geleiras continentais, gelo das regiões montanhosas bem como da dilatação térmica da água do mar, resultou na elevação do nível estático dos mares. Esta transgressão marinha foi a última de uma série de oscilações do nível do mar desde o Pleistoceno, quando o mar atingiu níveis mais altos e submergiu a costa durante as fases interglaciais (transgressão) e depois caiu para níveis mais baixos (regressão), deixando expostas as plataformas continentais, durante cada fase glacial (BIRD, 1994).

A variação do Nível Relativo do Mar significa mudança no Nível de Base que define a posição em que os processos da natureza vão agir na linha de separação da água do mar, das massas terrestres e do corpo gasoso da atmosfera. A ação combinada dos ventos, das forças hidrodinâmicas, de ações

gravitacionais astronômicas e tectonismos, desbastam, esculpem, transportam e constroem as linhas costeiras na medida em que o nível de base se eleva ou abaixa.

A nível global até aproximadamente 7.000 anos atrás, as taxas de aumento do nível do mar eram tão altas (10 m por 1.000 anos) que os efeitos de outros componentes eustáticos locais foram suprimidos. Após 7 mil anos, a desaceleração nas taxas glaciais de elevação do nível do mar permitiu a ação de outros mecanismos como hidro isostasia, tectonismo local e regional que influenciaram o nível do mar. As diatomáceas fornecem indicações precisas quanto as características do ambiente aquoso do qual são oriundas. Existem diatomáceas características de águas doces, águas salobras e águas marinhas. Ireland, (1988), construiu sua tese de doutorado *The Holocene Sedimentary History of the Coastal Lagoons of Rio de Janeiro State, Brazil*, investigando dentre outras, as lagoas de Itaipú. Na lagoa de Itaipú ele coletou várias séries de testemunhos os quais investigou na procura de espécies de diatomáceas. Segundo o autor, foi difícil determinar com exatidão quando a sedimentação holocênica começou. Analisando a estratigrafia do testemunho It.1/1 é possível que isto tenha ocorrido entre 3,35 e 2,47 m, quando areia e cascalho estão presentes pela primeira vez. Esta possibilidade é reforçada pela presença abundante de diatomáceas no testemunho It. 1/33 de 2,86 metros de profundidade para cima conforme Figura 8. Partindo do pressuposto que o início da sedimentação Holocênica começou neste ponto onde as diatomáceas foram sedimentadas em ambiente de baixa energia e águas oligohalinas. Esta deposição continua até 7100±75 BP, quando argila siltosa passou a ser depositada em água de polihalina a marinha.

Esta sobreposição transgressiva marca o início de uma longa fase durante a qual a influência marinha declina gradualmente cedendo lugar a formação de turfa de água doce em 370 BP. Durante esta longa fase de influência marinha, a área da qual foi extraído o testemunho, deve ter estado protegida de um ambiente altamente energético pela presença de uma barreira com um expressivo canal.



**Figura 8 Adaptado do testemunho Itaipú-1/33 de Ireland (1988).**

O declínio gradual da salinidade da água de polihalina/marinha para beta mesohalina, alfa mesohalina e oligohalina indicam o fechamento gradual do canal.

Evidências arqueológicas que apontam para a existência de uma barreira pleistocênica vem dos estudos do sambaqui de Camboinhas por (KNEIP; PALLESTRINI, 1981). Escavações no sambaqui que revelaram mais de mil artefatos indicam que foi erguido por homens pré-históricos do período neolítico. A duna do sambaqui está entre 7 a 8 metros acima do nível médio do mar. A datação mais antiga de  $7958 \pm 224$  BP indica que os paleoíndios acompanharam e se beneficiaram desde o início da formação da lagoa de Itaipu, até seu fechamento completo pelo cordão Holocênico.

A Figura 9 e a Figura 10 do testemunho e o perfil deste, descrito por (BARTH; BARTHOLOMEU; DE BARROS, 2013) corroboram as informações de Ireland ao mostrar turfa de idade pleistocênica situada a 1,6 m abaixo do fundo lagunar atual. A análise palinológica da amostra evidenciou que a lagoa ainda

não estava instalada e um ambiente úmido propiciava a manutenção de uma Floresta Pluvial.

Os depósitos lagunares holocênicos da lagoa de Itaipu estão acima deste nível, e assim como em Piratininga são pouco espessos.



Figura 9 Posição do testemunho extraído por Barth et al 2013.



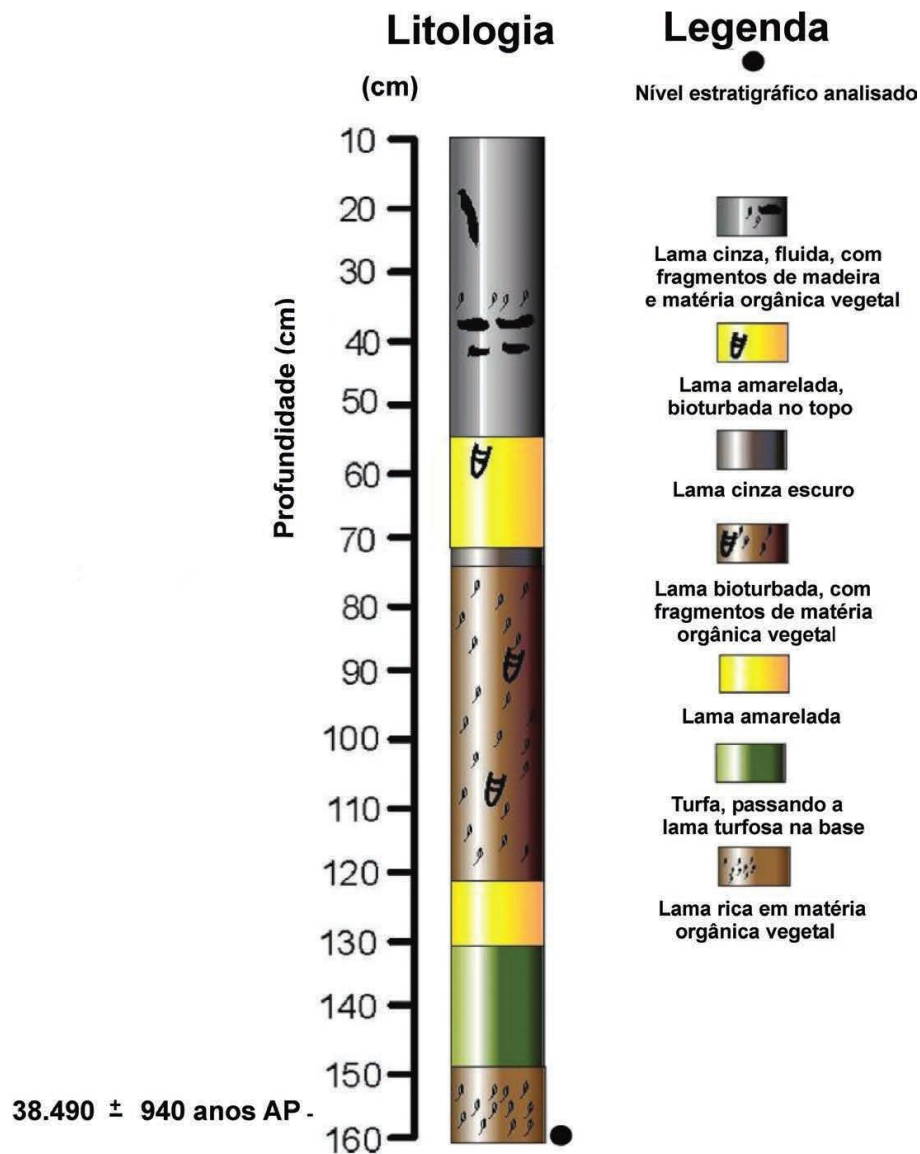


Figura 10 Perfil do testemunho recuperado por Barth et al 2013.

O entendimento dos aspectos químicos, físicos, geológicos e das dinâmicas ecológicas e ambientais das lagoas é da maior importância para o planejamento e implementação de estratégias de gerenciamento das lagoas costeiras (KJERFVE, 1994). Os estudos necessários para se chegar a tal entendimento implicam na correta aquisição de dados geométricos posicionais relativos a planimetria (longitude, latitude), altimetria (ortométricos), de profundidade (batimétricos), no conhecimento de cada *Datum* e sua contextualização metodológica e tecnológica, na evolução dos diversos sistemas de referência, análise comparativa de séries históricas, e no entendimento das percepções sociais afeitas as lagoas, nem sempre baseadas no conhecimento científico.

## 2.2 A Esfera, o Geóide, o Elipsoide e os *Data* Brasileiros

A posição de determinado ponto sobre a superfície dita esférica da Terra, é expressa por duas coordenadas analíticas. Elas representam o conjunto binário dos ângulos hexadecimais de afastamento de um Meridiano de Referência  $0^\circ$  (Greenwich) até seu antemeridiano  $180^\circ$ , e aos ângulos hexadecimais de afastamento do Equador  $0^\circ$  até  $90^\circ$  onde se situam os polos. A informação de posição geográfica é de grande utilidade, mas para diversos usos práticos carece do complemento da altimetria. Para se determinar a altimetria há que se ir além do modelo esférico.

No início do século XIX Carl Friedrich Gauss propôs um modelo aperfeiçoado da Terra, onde sua superfície seria definida por um campo equipotencial gravitacional coincidente com o nível médio imperturbado dos oceanos e mares. Em 1849 George Gabriel Stokes postula a “Integral de Stokes” que o notabilizou a partir de medições gravitacionais. O modelo de Gauss teve aceitação e a partir da segunda metade do mesmo século J. F. Listing cria o termo “Geóide” para descrever a possível superfície matemática. Entre 1880 e 1884 Friedrich Robert Helmert desenvolve os princípios matemáticos de solução das “*Geodésicas em um elipsoide*”.

Segundo o IBGE, os primeiros levantamentos geodésicos no Brasil foram realizados em 1939 pelo Conselho Nacional de Geografia (CNG) visando atualização da Carta do Brasil ao Milionésimo. Em 1944 foi medida a primeira base geodésica, nas proximidades de Goiânia, dando início ao estabelecimento sistemático do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) em sua componente planimétrica, através de medições de latitudes e longitudes, materializadas por pilares, marcos e chapas. Em 1945 começaram os trabalhos Nivelamento de Alta Precisão, dando início a Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).

A Referência de Nível RN 1-A do IBGE está posicionada no Distrito de Cocal, Município de Urussanga, Santa Catarina. Em 1946 o SGB conectou-se a Estação Maregráfica de Torres, no Rio Grande do Sul, estabelecendo o *Datum* de Torres e possibilitando o cálculo das altitudes das Referências de nível já implantadas. Segundo (SAMPAIO *et al.*, 2015), em 1949 estabeleceu-se o



Sistema de Geodésico de Referência (SGR) *Datum* Córrego Alegre (CA), posteriormente associado ao *South American Datum* (SAD), SGR topocêntrico de âmbito regional. A determinação das coordenadas do CA foi realizada por métodos clássicos com emprego de calculadoras mecânicas e tabelas de logaritmos.

Em 1958 o *Datum* altimétrico de Torres foi substituído pelo de Imbituba, no porto do mesmo nome em Santa Catarina. A estação Maregráfica de Imbituba contava com dados de observação acumulados durante nove anos, melhorando sobremaneira a definição das altitudes. A Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do SGB foi objeto de diversos processos de ajustamento conforme as ferramentas de cálculo de cada época (IBGE-Geodésia). Em relação a planimetria, as dificuldades de acesso a região Amazônica na década de 70 induziram o rastreamento dos satélites *Navy Navigation Satellite System* (NNSS) da Marinha Norte Americana, também conhecido como TRANSIT (IBGE-Planimetria).

A disseminação de Sistemas de Satélites para Navegação Global (GNSS em inglês) abriram novos caminhos e possibilidades. No início da década de 90 o IBGE começou a usar o *Global Positioning System* (GPS), em uso até o presente. O Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) criou na década de 60 o *World Geodetic System* (WGS60). O sistema sofreu várias mudanças durante seu aprimoramento. Sem entrar no detalhe de cada revisão, houve uma em 1966, outra em 1972 até se chegar a concepção atual no início da década de 80. O então WGS 84 chegou a nossos dias com ajustes finos em 2004.

O sistema é de concepção geocêntrica, serve como base cartográfica, geodésica e suporte à navegação a nível mundial. Utiliza-se do GNSS do DoD e também do Sistema de Posicionamento Global – (GPS). Compreende um sistema de coordenadas padrão para a Terra, uma superfície esferoidal padrão (um Elipsoide de referência) para dados brutos de altitude e posição geográfica. Concomitantemente considera a superfície equipotencial gravitacional (o Geóide) que define o nível nominal do mar. O Meridiano 0° do sistema passa a 102,478 m a leste do Meridiano de Greenwich. A diferença é fruto da vertical local do Observatório Real e a vertical geodésica que passa pelo centro de massa da Terra.

O IBGE (pg. Sistema Geodésico Brasileiro-Rede Planimétrica) narra que a partir do ano de 1995, os EUA, países da América Latina e do Caribe deram início ao Projeto Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS). No ano de 2000 foi estabelecida uma segunda rede de referência, com precisão científica, sobre as quais se apoiaram as redes nacionais americanas. Em 2005 foi decretada a mudança dos referenciais planimétricos e altimétricos que definem o SGB e o SCN, estabelecendo-se o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000 como novo paradigma.

O SIRGAS 2000 é a densificação regional do marco global de referência terrestre do IERS (ITRF: *International Terrestrial Reference Frame*). Sua definição é idêntica a definição do Sistema Internacional de Referência Terrestre do IERS (ITRS: *International Terrestrial Reference System*). A compatibilidade dos sistemas é de precisão milimétrica. O *Datum* geodésico SIRGAS está definido pela origem, a orientação e a escala do sistema SIRGAS estão combinadas com os parâmetros do elipsoide GRS80, permitindo a conversão de coordenadas geocêntricas em coordenadas geográficas.

Segundo o IBGE, não há parâmetros de transformação entre o sistema WGS 84 e o SIRGA 2000, pois os dois são praticamente iguais, ou seja,  $\Delta X = 0$ ,  $\Delta Y = 0$  e  $\Delta Z = 0$ . Como exposto anteriormente, desde o estabelecimento do sistema GPS (*Global Positioning System*), o seu Sistema Geodésico de Referência (WGS 84) já passou por quatro refinamentos. Nestas quatro atualizações o objetivo sempre foi aproximá-lo ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*), materialização mais precisa do ITRS (*International Terrestrial Reference System*), desenvolvida pelo IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*). A mais recente atualização recebeu a denominação de WGS 84 (G1674), adotado no Sistema GPS a partir de fevereiro de 2012.

### **2.3 Determinação da Posição Geográfica por Gps/Dgps**

A (TELECO, 2017) diz que a precisão GPS varia de modelo para modelo, mas a utilização de um GPS com correção pós-processada gera dados com altas precisões. Os processos pós-processados exigem dois receptores; o fixo que

atua como Base (ou de referência), fixo sobre um ponto de coordenadas conhecidas e dentro de um raio de 500km. Podem ser utilizadas Bases disponibilizadas pelo INCRA, IBGE ou independentes. O outro, móvel (ou *Rover*) (MIYOSHI; SANCHES, 2002). O receptor de referência faz o cálculo das medições de cada satélite, baseando-se na sua posição precisa, depois as compara com os dados extraídos do receptor móvel através de softwares específicos. A diferença entre estes valores dá a correção dos pontos levantados. O nome desta técnica é usualmente chamado DGPS (*Diferencial Global Position System*) (SANCHES, 2007).

Os métodos de aquisição de dados para determinação de posição através de equipamentos GPS são basicamente:

- **Posicionamento Estático:** dois ou mais receptores fixos observam os mesmos satélites durante uma hora ou mais, sendo determinadas as componentes do(s) raio(s) vetor(es) definido(s) pelas estações com uma precisão de 1 a 2 partes por milhão (ppm);

- **Posicionamento Cinemático Contínuo e Semi-Cinemático:** um receptor é mantido fixo enquanto outro(s) é (são) móvel(is); no caso do Cinemático Contínuo, adota-se uma taxa de observação de apenas um segundo, enquanto no caso do semi-cinemático o tempo de ocupação nas estações móveis é reduzido a alguns minutos (no mínimo 2 segundos, ou seja, o suficiente para serem realizadas observações em dois momentos distintos); as antenas móveis retornam à posição inicial; há que se definir as ambiguidades no início do processo, através do rastreamento de uma base conhecida, ou do rastreamento de uma linha de base segundo a técnica do posicionamento estático ou ainda através do procedimento de troca de antenas (*swap*); os sinais devem ser continuamente rastreados, evitando-se obstruções no percurso, a fim de que os valores determinados para as ambiguidades permaneçam válidos durante o levantamento;

- **Posicionamento Pseudo-Cinemático ou Pseudo-Estático:** um receptor é mantido fixo enquanto outro ou outros itinerantes, ocupam as mesmas estações mais de uma vez (2 ou 3), durante períodos de tempo de alguns minutos (2 segundos, no mínimo, para serem observadas duas épocas distintas),

separados por no mínimo uma hora; não é necessário manter-se o rastreamento durante o deslocamento dos receptores itinerantes, podendo-se inclusive desligá-los.

Ainda segundo (TELECO, 2017), há basicamente seis fontes de erro no sistema GPS que podem influenciar na precisão das medidas, sendo elas:

- Atrasos na Ionosfera;
- Sinal com caminhos múltiplos;
- Erros do relógio receptor;
- Erros de órbita;
- Numero de satélites visíveis;
- Geometria dos satélites.

Mas o principal problema quanto a precisão do equipamento GPS está no manuseio do operador, que mesmo com um equipamento de alta qualidade pode introduzir um grande erro, caso o equipamento não seja corretamente configurado para o trabalho ao qual se destina.

Até o SAD 69 ser substituído pelo SIRGAS 2000 o primeiro cuidado que se deveria ter era a correta escolha do *DATUM* a ser utilizado. Como padrão os equipamentos vêm configurados para utilizar o *DATUM* WGS 84 (*World Geodetic System 1984*), que utiliza o centro de massa da Terra como origem e que atualmente é compatível com o SIRGAS 2000. Outro cuidado é o adequado posicionamento do equipamento para evitar multicaminhos ou obstrução dos satélites. Os erros então ficam reduzidos apenas aos atrasos e erros orbitais (SANCHES, 2007, pg. 133).

A disseminação do uso dos Sistemas Globais de Navegação por Satélite – GNSS (em inglês) emprestou celeridade e precisão ao processo de obtenção de posições geográficas. Não obstante, a altitude determinada através de um aparelho GNSS está relacionada ao elipsoide de referência com dimensões específicas, e não ao nível do mar (ou mais corretamente ao Geóide). Para a determinação da altitude ortométrica (relativa ao nível do mar, mais precisamente ao Geóide) faz-se necessário o conhecimento da ondulação do

geoide no local, a qual deve ser descontada da altitude elipsoidal. A Figura 11 mostra uma ilustração da medição da ondulação do Geóide.

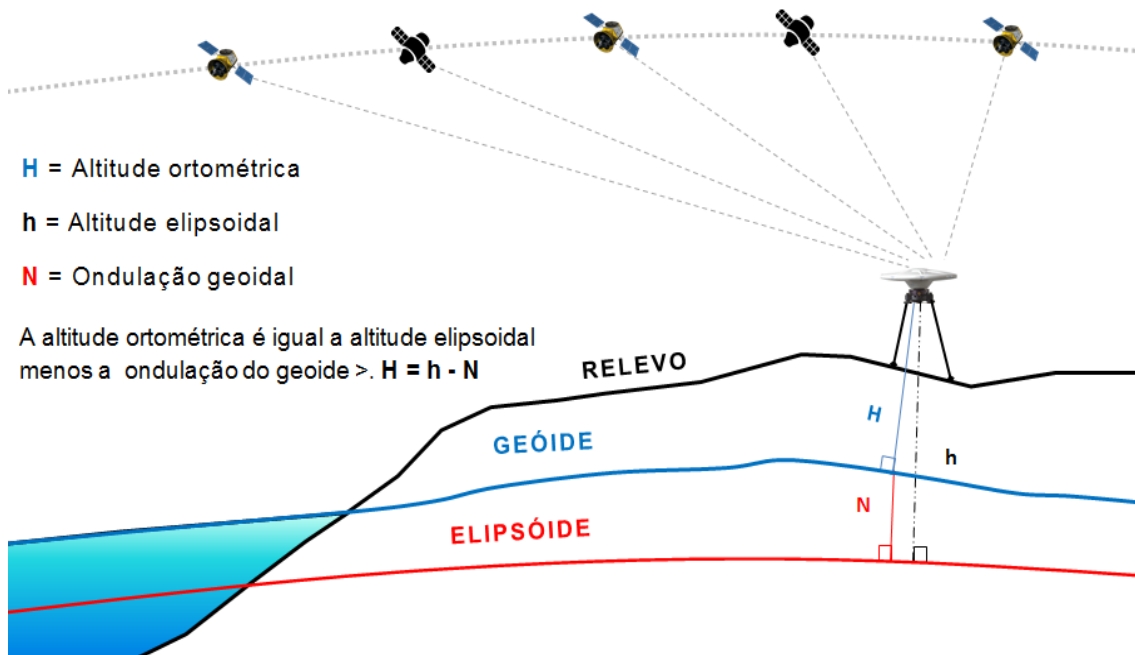


Figura 11 Ilustração da medição da ondulação do Geóide (adaptada do IBGE).

## 2.4 Sobre Batimetria e Perfilamento do Subfundo

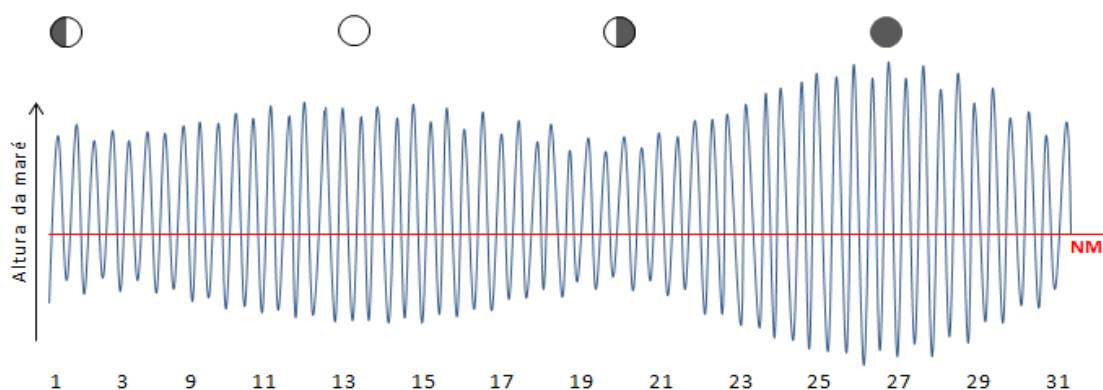
A palavra Batimetria é de origem grega, sendo composta do radical βαθύς (bathus) que significa “profundo” e do sufixo μέτρον (metron) que significa “medida”. Batimetria então refere-se à medição das profundidades e é empregada no estudo da superfície dos leitos de oceanos, lagos, lagoas e rios. A batimetria é o equivalente subaquático da hipsometria, ramo da topografia, que representa através de planos equipotenciais as altitudes de uma região. Pontos de mesma altitude são ligados determinando linhas de mesma altitude, as chamadas curvas de nível. As curvas de nível são igualmente espaçadas e seu arranjo permite compreender no plano bidimensional do papel as elevações e depressões de uma superfície, bem como seus gradientes.

As curvas de nível representam as altitudes ortométricas, referidas ao plano inicial, ou zero geodésico, que representa o nível médio do mar. No Brasil o zero geodésico está situado no porto de Imbituba em Santa Catarina. Enquanto as curvas de nível expressam altitudes e são representadas por números positivos crescentes, as batimetrias medem profundidades cujas curvas de mesma profundidade são conhecidas como isóbatas, que crescem

negativamente a medida que se afastam da superfície. As profundidades medidas durante o processo batimétrico são reduzidas ao nível médio das menores marés observadas em determinada região (nível de redução).

Segundo a Organização Hidrográfica Internacional (OHI) o Nível de Redução é o Plano de Referência no qual todas as profundidades cartográficas estão relacionadas de modo a que seja tão baixo que a maré, em condições normais, não fique abaixo dele. No enunciado da OHI, as condições normais excluem a ação das componentes meteorológicas tais como ventos e pressão atmosférica como também características geomorfológicas da costa. O Centro de Hidrografia da Marinha (CHM-2017) define que *“As profundidades representadas numa carta náutica são reduzidas ao nível de redução da maré (nível que corresponde à média das baixa-mares de sizígia), para eliminar as variações das marés e garantir ao navegante que este não encontre nenhuma profundidade menor do que as representadas na carta náutica”*.

O nível de redução para conversão das profundidades batimétricas é relativo a posição geográfica. A determinação do Nível de Redução (NR) é realizada através da análise dos registros maregráficos que abrangem ciclos completos de marés de Sizígia e de quadratura, como na Figura 12. O ponto mínimo da envoltória inferior é o Nível de Redução (NR) observado, relativo àquela região.

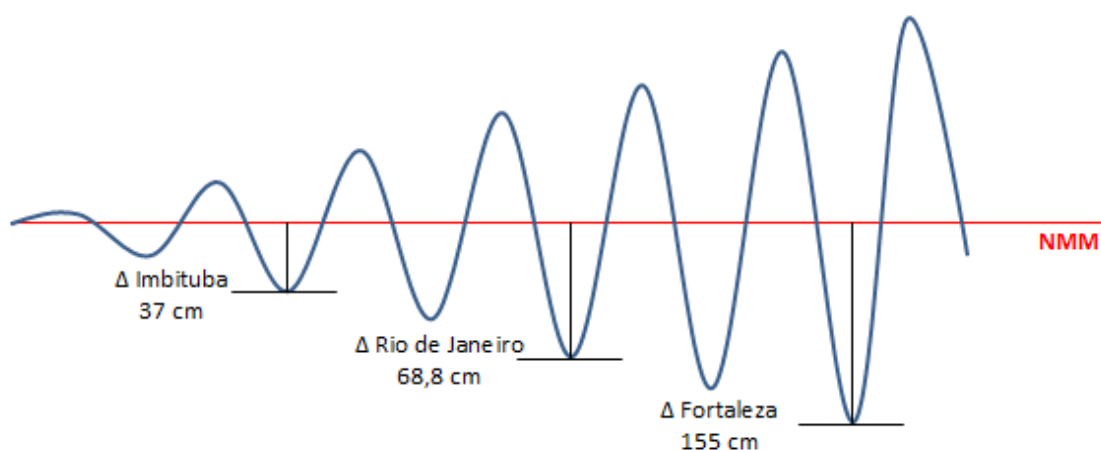


**Figura 12 Modelo astronômico com as amplitudes de sizíguas e quadraturas.**

Os atuais procedimentos para determinação das profundidades batimétricas independe da ondulação do geóide na região, pois os dados para

sua determinação são obtidos a partir da superfície do mar, diretamente sujeito a ação gravitacional.

A Figura 13 representa de maneira esquemática o caráter relativo do Nível de Redução ao longo do litoral brasileiro, por ser o NR a expressão do nível mínimo da maior amplitude de vazante das marés de sizígia em um determinado local. Para efeitos de melhor visualização o NMM é representado como campo equipotencial constante desde Imbituba (SC) até São Luiz (MA). O NR do Rio de Janeiro (Ilha Fiscal) é definido pela DHN como estando situado a 68,8 cm do NMM.



**Figura 13 Representação do aumento da amplitude da maré ao longo do litoral brasileiro**

A Figura 14 foi extraída da página da Marinha Brasileira que trata de marés. Ela apresenta elementos importantes necessários à tomada de decisão quanto a conveniência e segurança da navegação em determinado lugar e hora. Tais elementos são o NMM, o Nível do Mar em um instante considerado (NM), o calado da embarcação (A), a profundidade sob a quilha (B), a profundidade instantânea do local (C), a profundidade batimétrica constante na carta náutica (D), a altura instantânea da maré em relação ao nível de redução (E) e a posição do nível de redução local (NR) em relação ao NMM (F).

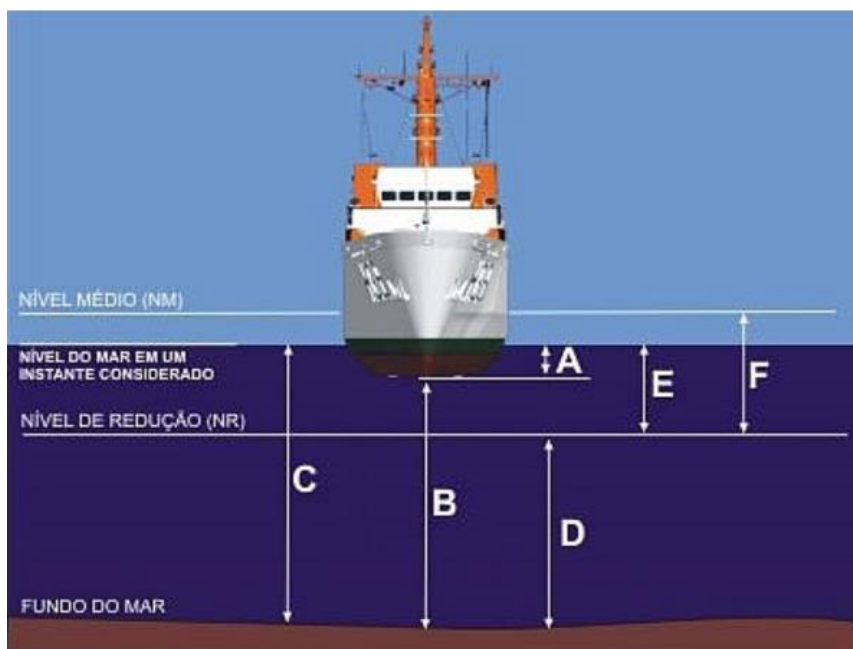


Figura 14 Das leituras acima a profundidade batimétrica é a D. Fonte: DHM.

As batimetrias realizadas em qualquer lugar da costa brasileira devem ser convertidas aos Níveis de Redução locais, conforme as relações de nível expostas acima. Há outros levantamentos hidrográficos que podem ser associados a batimetria, enriquecendo a base de dados. Segundo a portaria 53/MB, um levantamento hidrográfico compreende o “conjunto de trabalhos executados na obtenção de dados batimétricos, geológicos, maregráficos, fluviométricos, topogeodésicos, de ondas, de correntes e outros, em áreas marítimas, fluviais, lacustres e em canais naturais ou artificiais, navegáveis ou não”.

As novas tecnologias GNSS, o estabelecimento de um conjunto homogêneo de marcos geodésico com altitudes de alta precisão em todo o território nacional, denominada Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do SGB levaram a criação em 1996 da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) com a finalidade de determinar e acompanhar a evolução temporal e espacial dos *data* altimétricos do SGB. A correlação entre os diferentes Níveis de Referência em cada estação da RMPG é condensada na Figura 15, extraída do estudo “Análise do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia” do IBGE, publicado em 2016. A Tabela 1 descreve as representações da Figura 15.



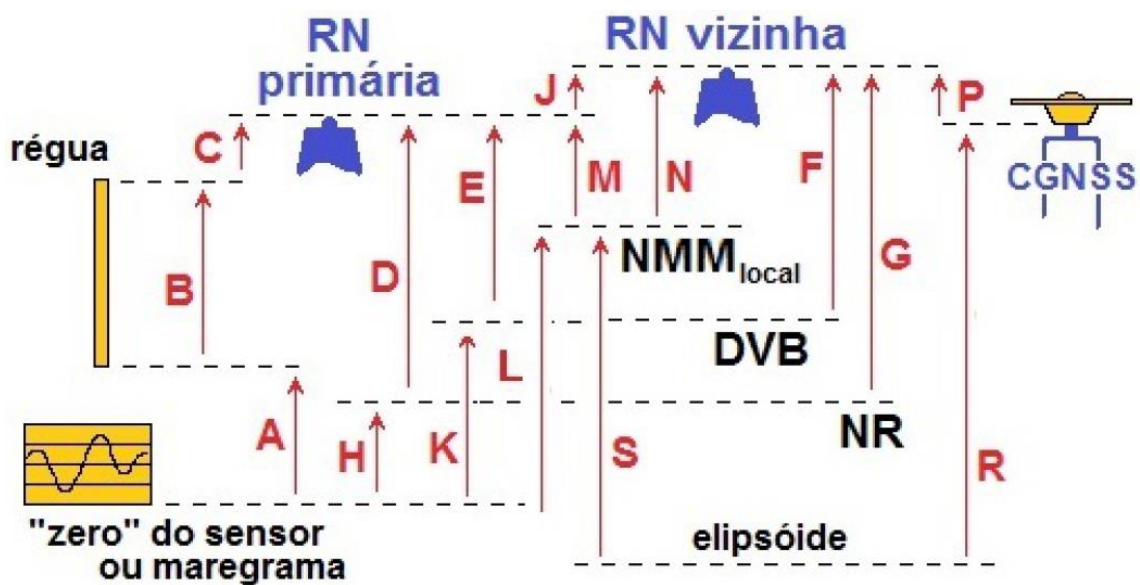


Figura 15 Correlação entre os diferentes NR nas estações da RMPG. (IBGE-2016).

Tabela 1 Representações da Figura 15.

|   |  |
|---|--|
| A | Desnível entre os “zeros” do marégrafo e da régua;   |
| B | Leitura nominal do topo da régua;  |
| C | Desnível do pino/topo da régua até a RN primária (negativo: RN abaixo do ponto da régua);                |
| D | Altura da RN primária acima do Nível de Redução da DHN (“NR”), obtida em documento externo               |
| E | Altitude da RN primária referida ao Datum de Imbituba, obtida no BDG do IBGE;                            |
| F | Altitude(s) da(s) RN(s) vizinha(s) referida(s) ao Datum de Imbituba, obtida(s) no BDG do IBGE;           |
| G | Altura(s) da(s) RN(s) vizinha(s) ref. ao Nível de Redução da DHN (“NR”), obtida(s) em documento externo; |
| H | Constante a ser SUBTRAÍDA das leituras do marégrafo para referenciá-las ao NR;                           |

|   |   |
|---|---|
| J | Acompanhamento da estabilidade das RRNN da estação via nivelamento geométrico;  |
| K | Constante a ser SUBTRAÍDA das leituras do marégrafo para referenciá-las ao Datum de Imbituba;                             |
| L | Nível médio local obtido das leituras do sensor/marégrama;  |
| M | Altura da RN primária acima do nível médio local;   |
| N | Altura da RN vizinha acima do nível médio local;  |
| P | Desníveis entre as RRNN primária/vizinha e o ponto de referência da estação de monitoramento CGNSS (nivel. de CGEM);      |
| R | Altitude elipsoidal da estação CGNSS, resultante do processamento das respectivas observações com metodologia específica; |
| S | Altitude elipsoidal do nível médio local, obtida via nivelamento de CGEM.   |

A NORMAM-25/DHN (NORMAS DA AUTORIDADE MARÍTIMA para levantamentos hidrográficos) postula que “levantamento hidrográfico é toda a pesquisa em áreas marítimas, fluviais, lacustres e em canais naturais ou artificiais navegáveis, que tenha como propósito a obtenção de dados de interesse à navegação aquaviária. Esses dados podem ser constituídos por informações de batimetria, da natureza e configuração do fundo marinho, de direção e força das correntes, da altura e frequência da maré ou do nível das águas, e da localização de feições topográficas e objetos fixos que sirvam em auxílio à navegação”.

Dentre as muitas técnicas de aquisição de dados batimétricos estão as informações adquiridas por meios indiretos através do uso de equipamentos sonares mono ou multifeixe; os ecobatímetros. Segundo (GAGG, 2016) ecobatímetro é um aparelho que produz um feixe de ondas sonoras (frequência menor que 18 kHz) ou ultrassônicas (frequência maior que 18 kHz) transmitido verticalmente por um emissor instalado na embarcação de sondagem chamado de transdutor, que atravessa o meio líquido até atingir o fundo submerso, onde

é refletido e retorna ao transdutor. A medição precisa do tempo de retorno define a distância até o fundo (profundidade)

A batimetria demanda embarcações equipadas com receptores DGPS (medida da posição), ecobatímetros (medida da profundidade) associados a sensores para determinação da velocidade do som na água e sensores de atitude (medem o movimento da embarcação nos 3 eixos) (CHM, 2017). Algumas variáveis podem interferir no levantamento com ecobatímetro no que se refere à propagação da onda: salinidade, temperatura da água, quantidade de sedimentos em suspensão e fluxo turbulento. A Figura 16 mostra o processo.

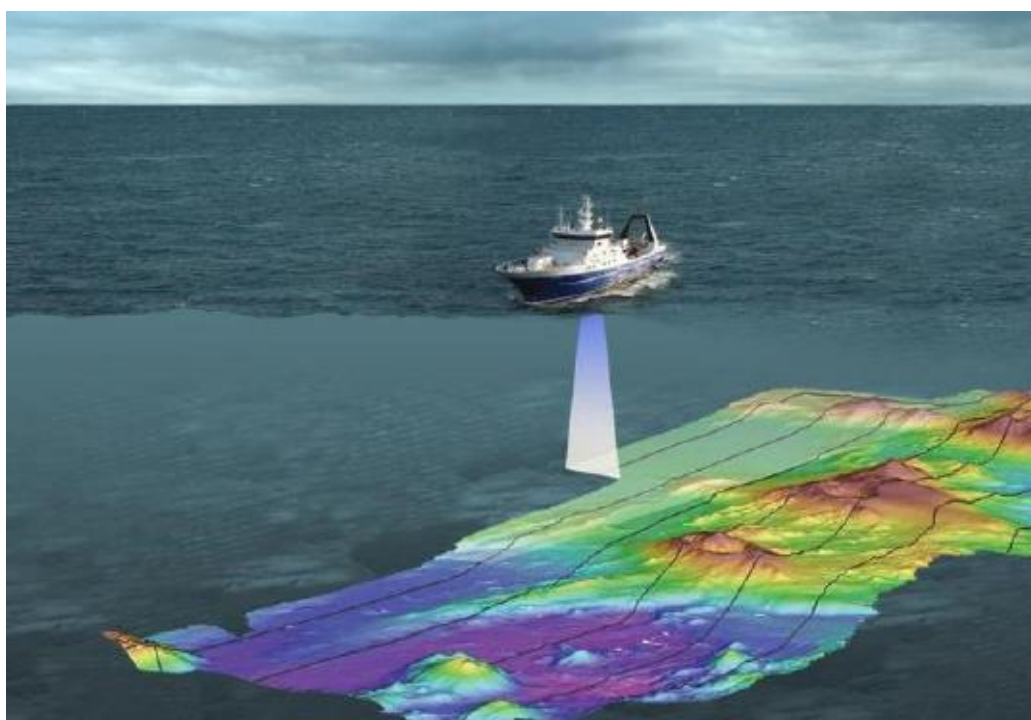


Figura 16 Levantamento batimétrico Multi Feixe Sub Sea Word News 2016.

A densidade da água varia com três fatores principais que são a temperatura, a pressão e a salinidade, Para minimizar estes efeitos, faz-se necessária a calibração do ecobatímetro (IHO, 2005).

A Figura 17 representa o monitor de um equipamento de dois canais onde ① aponta o menu principal, ② a primeira linha com informação variável, ③ vista do Ecograma e da profundidade, ④ vista do sinal e ⑤ barra do status. Os ecobatímetros de duas frequências foram originalmente concebidas para serem utilizadas pelos navios para fornecer profundidades confiáveis em situações de

águas profundas (baixa frequência) e uma navegação mais precisa em áreas pouco profundas (alta frequência).

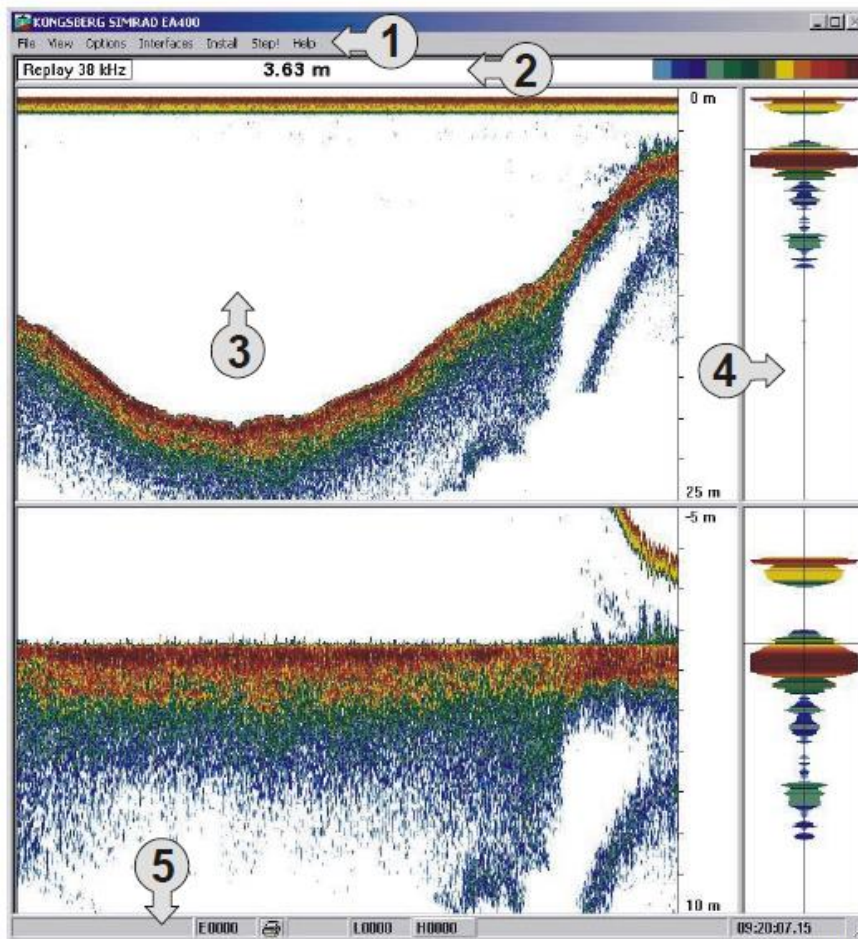


Figura 17 EA 400 Imagem do catálogo mostrando a função de cada campo do monitor.

Os ecobatímetros possibilitam precisão, rapidez de execução do levantamento e do processamento de dados. Com alguns ecobatímetros é possível conhecer o perfil do fundo do rio, lagoa, ou do subleito marinho ao longo de uma seção específica. O EA 400/SP *Single beam hydrographic echosounder* enquadra-se nesta categoria. Ele é capaz de registrar a profundidade (20 KHz) e concomitantemente produz o perfilamento do subfundo (50 KHz) abaixo de cada ponto do Ecograma.

## 2.5 Sobre Reambulação

Segundo o IBGE, em sua instrução Noções Básicas de Cartografia, capítulo IV PROCESSO CARTOGRÁFICO, item 2.1 MÉTODOS, 2.1.1. AEROFOTOGRAMETRIA aborda o assunto em 2.1.1.6 REAMBULAÇÃO. O

procedimento fica definido ali como: “É o trabalho realizado em campo, com base em fotografias aéreas, destinado à identificação, localização, denominação e esclarecimentos de acidentes geográficos naturais e artificiais existentes na área da fotografia, mesmo que nela, não apareçam por qualquer motivo (nuvens, sombra, vegetação, existência mais recente, etc.)”.

A Escola Nacional de Ciências Estatísticas, Departamento do IBGE, em sua apresentação Reambulação: processos e inovações de julho de 2008 redefine o fluxo da reambulação, analisando o conceito segundo uma visão contemporânea. Lá a Restituição Aerofotogramétrica é uma base sem atributos, que sofre reambulação que lhe confere atributos e que resulta em Feições Cartográficas com atributos.

A Reambulação objeto do presente estudo dá-se sobre uma base aerofotogramétrica com atributos, que é a base LiDAR existente sobre a área. A reambulação foi levada a cabo em áreas próximas às três RN do IBGE, ocupadas durante os trabalhos, de modo a validar a base LiDAR com a precisão ortométrica desejada, sobre a qual fosse possível gerar os mapas de inundação planejados.

A implementação do método pressupõe que as Referências de Nível sejam transpostas para locais próximos e claramente visíveis à base de dados LiDAR para naqueles pontos sejam procedidos os ajustes e correções da base de dados LiDAR situada sobre as lagoas de Itaipú e Piratininga e seu entorno.

## **2.6 Sobre Granulometrias**

Não existe uma única escala que caracterize solos e sedimentos segundo mesmos intervalos de variação dos diâmetros de cada uma das frações que compõe os materiais estudados. Neste universo encontram-se escalas importantes para fins específicos dentre as quais podem ser citadas: A escala da *International Society of Soil Science* de 1915, a escala de *Wentworth* de 1922, a do M.I.T de 1931, a *U.S. Public Roads* de 1938, as escalas ABNT – NBR – 6502 e sua revisão de 1995 apenas para ilustrar.

Aparentemente uma escala de âmbito internacional teria fundamento aritmético e seria baseada no sistema métrico. Entretanto verifica-se que, ao se aplicarem escalas deste tipo, as distribuições das partículas não seguem uma distribuição estatística normal gaussiana. A curva resultante é notadamente assimétrica, com predominância das frações mais finas. Sedimentos muito diferentes ficam com aspectos semelhantes, comprometendo os seus estudos a determinação das suas diferenças. Para contornar este problema foi desenvolvida uma escala geométrica, utilizando potências de 2, proposta em (UDDEN, 1898).

Segundo Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH, 2007) Wentworth em 1922, aperfeiçoou a escala no que se refere às designações das classes. Mas foi (KRUMBEIN, 1936), ao introduzir a base logarítmica que viria verdadeiramente a criar a escala  $\phi$ . Como a grande maioria das partículas sedimentares têm dimensão inferior a 1mm, a simples transformação logarítmica obrigaria à utilização sistemática de valores negativos, o que dificultaria os cálculos subsequentes. A solução encontrada para resolver a questão dimensional foi a aplicação de um artifício matemático, onde o diâmetro da partícula classificada fosse dividido por um valor de referência arbitrado com diâmetro elementar de 1 mm.

A escala  $\phi$  tomou então seu formato definitivo em que  $f > \phi = -\log_2 \left( \frac{d}{d_0} \right)$  onde  $d$  é o diâmetro da partícula em milímetros e  $d_0$  é o diâmetro de referência ou 1 mm mais exatamente. Apesar do inconveniente de eventualmente surgirem valores negativos simultaneamente a positivos em granulometrias com grãos de mais de 2 mm, a maioria dos trabalhos referem-se a sedimentos arenosos ou mais finos.

A escala Wentworth, seguindo a formulação  $\phi = -\log_2 \left( \frac{d}{d_0} \right)$  resulta nos valores expressos

Tabela 2 onde na coluna mais a esquerda, aparecem os valores de  $\phi$  e a direita a abertura da malha das peneiras em milímetros e micra.

Note-se que o  $\phi = 4$  equivale à peneira de 62,5  $\mu$ , assemelhada a peneira 63, que define a separação das areias (frações retidas) dos siltes (frações

passantes). A peneira 63 será citada repetidamente neste trabalho como limite de diferenciação entre areias muito finas e as partículas de silte grosso.

**Tabela 2 Tabela de Wentworth.**

| Φ  | Inglês             | Português             | mm     |
|----|--------------------|-----------------------|--------|
| -9 | Boulder            | Bloco                 | ≥512   |
| -8 |                    |                       | 256    |
| -7 | Cobble             | Seixo                 | 128    |
| -6 |                    |                       | 64     |
| -5 |                    |                       | 32     |
| -4 |                    |                       | 16     |
| -3 | Very coarse gravel | Cascalho muito grosso | 8      |
| -2 | Coarse gravel      | Cascalho grosso       | 4      |
| -1 | Medium gravel      | Cascalho médio        | 2      |
| 0  | Fine gravel        | Cascalho fino         | 1,000  |
| 1  | Very coarse sand   | Areia muito grossa    | 0,500  |
| 2  | Coarse sand        | Areia grossa          | 0,250  |
| 3  | Medium sand        | Areia média           | 0,125  |
| 4  | Fine sand          | Areia fina            | 0,0625 |
| 5  | Very fine sand     | Areia muito fina      | 31,25  |
| 6  | Coarse silt        | Silte grosso          | 15,63  |
| 7  | Medium silt        | Silte médio           | 7,81   |
| 8  | Fine silt          | Silte fino            | 3,91   |
| 9  | Very fine silt     | Silte muito fino      | 1,95   |
| 10 | Coarse clay        | Argila grossa         | 0,98   |
| 11 | Medium clay        | Argila média          | 0,49   |
| 12 | Fine clay          | Argila fina           | 0,24   |
| 13 | Very fine clay     | Argila muito fina     | 0,12   |
|    | Colloid            | Colóide               | 0,12   |

### 3 Metodologias, Equipamentos e Materiais

- Pesquisa bibliográfica de livros, revistas, anais e publicações especializadas. Consulta a monografias e sites específicos ou ligados ao escopo do trabalho;
- Nivelamentos ortométricos, geodésicos, medição da ondulação do geoide na área, reambulação e aferição das imagens do sistema LIDAR;
- Opinião de especialistas, depoimento de antigos habitantes das áreas afetadas, testemunho do autor que conviveu nas áreas estudadas entre 1957 e 1963, e as frequentou de bicicleta entre 1964 e 1968;
- Estudos de séries de aerofotogrametrias da FUNDREN sobre Niterói e séries de imagens de satélite disponíveis no Google Earth;
- Estudo das principais batimetrias realizadas nas lagoas e suas profundidades observadas, analisadas segundo o referencial ortométrico;
- Batimetria georeferenciada associada ao perfilamento do subleito da lagoa de Piratininga através de Sonar de dupla frequência Kongsberg EA 400;
- Coleta de testemunhos do fundo da lagoa de Piratininga, caracterização dos sedimentos, granulometria das areias retidas na peneira 63, descrição dos perfis encontrados e cotejamento com perfil de testemunho coletado anteriormente (há 22 anos) no mesmo local;
- Emprego do *Russian Peat Corer* (trado russo - Figura 18) extensível de 90 mm de diâmetro por 480 mm de recuperação (meia cana);

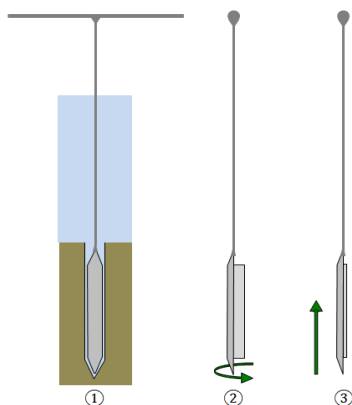


Figura 18 Funcionamento do trado russo.



- DGPS Geo Tech GTR-G<sup>2</sup>, estático, pós-processado com precisão horizontal de 3 mm e vertical de 5 mm;
- Lupa Zeiss
- Liofilizador Thermo Electronic Corporation, ModulyoD, Freeze Dryer;
- Mini quarteador Fabrício;
- Granulômetro RetschTechnology CAMSIZER;
- Sonar de dupla frequência Kongsberg, EA 400;
- GPS GTR G<sup>2</sup>

### **3.1 Aquisição e Processamento dos Dados**

Entre junho de 2016 e julho de 2017 foram realizadas incursões a área de estudo com objetivo de proceder a reconhecimento, verificação das condições de acesso a diferentes pontos das lagoas e do canal de Camboatá, participação em reuniões com as comunidades organizadas em eventos nos quais se discutia o Sistema Lagunar Itaipú Piratininga, incluindo-se aí reuniões do Sub Comitê Lagunar Itaipú Piratininga (CLIP) onde depoimentos foram colhidos. Neste período foram realizadas incursões ao Delta de Maré Enchente da lagoa de Itaipu e campanhas na Lagoa de Piratininga para coleta de sedimentos, batimetria e perfilamento do subleito e nivelamentos.

Durante este período a lagoa de Piratininga vazou pelo canal de Camboatá, sem influência notável da maré enchente através do canal da lagoa de Itaipú. Piratininga vaza tanto pelo canal de Camboatá quanto pelo túnel do Tibau. Neste último a influência da maré é perceptível, pela maior proximidade da boca do túnel de drenagem permanente que liga a lagoa com o mar. Entretanto nem as chuvas nem as marés foram expressivas o suficiente para causar grandes variações no nível de ambas as lagoas. A grande extensão do canal de Camboatá (aprox.. 2 quilômetros) sua baixa profundidade, pouca largura e reduzida manutenção contribuem para retardar e limitar a ação do prisma de maré.

### **3.2 Coleta e Análise de Sedimentos**

O baixo nível registrado na lagoa de Piratininga, por ocasião das extrações, possibilitou a recuperação de testemunhos até uma profundidade de 1,60 metros abaixo do leito lagunar. Com o emprego de dois barcos e apoio local foram coletados testemunhos em dois pontos de coordenadas 22° 56'50,48" S e 43° 04'37,75" O para o T2 e 22° 56'48,89" S e 43° 04'18,30" O para o TD com emprego de trado de meia cana, conhecido como "trado russo". O trado é extensível, com bulbo de 600 mm de altura, capacidade de recuperação de 480 mm, e diâmetro interno de 90 mm. Em cada ponto foram retirados três testemunhos nas profundidades de 0 a 55 cm, de 55 a 105 cm e de 105 a 160 cm. Os testemunhos foram involucrados, identificados e preservados em caixas de isopor. A Figura 19 mostra a extração do corpo T2.



**Figura 19** Extração de testemunhos na lagoa de Piratininga.

Os testemunhos foram levados para o Laboratório de Geologia da UFF e mantidos em congelador. Eles foram identificados como T2, retirado no local do testemunho de mesmo nome extraído por (RESENDE, 1995) e TD retirado mais a leste de T2. Cada testemunho possibilitou a recuperação de material entre os níveis 00 a 48 cm, de 57 a 107 cm (Figura 20) e de 117 a 160 cm.



**Figura 20 Horizonte de 57 a 107 cm, na bancada para descrição.**

Os testemunhos foram descritos inicialmente através de inspeção qualitativa organoléptica olfativa, tátil e visual. Todos os segmentos dos dois testemunhos exalaram vapores de sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ -Gás Sulfídrico), mais intensamente nas camadas superficiais, mas notável mesmo nos níveis mais profundos. A existência deste sulfeto indica a presença de matéria orgânica em decomposição. A inserção de agulhas (ARTHUR, 2017) através do material recuperado possibilitou a diferenciação tátil da presença das frações de areia, silte e argila. A inspeção visual permitiu classificar os sedimentos segundo escala cromática de MUNSELL, identificação de ocorrências macroscópicas como a presença de gastrópodes, sementes, materiais orgânicos e minerais diversos. Após a descrição dos testemunhos, parte do material foi coletada para ensaios granulométricos e o restante foi congelado. A Figura 21 resume o processo. As Figura 22 e Figura 23 descrevem os perfis dos testemunhos T2 e TD, respectivamente.

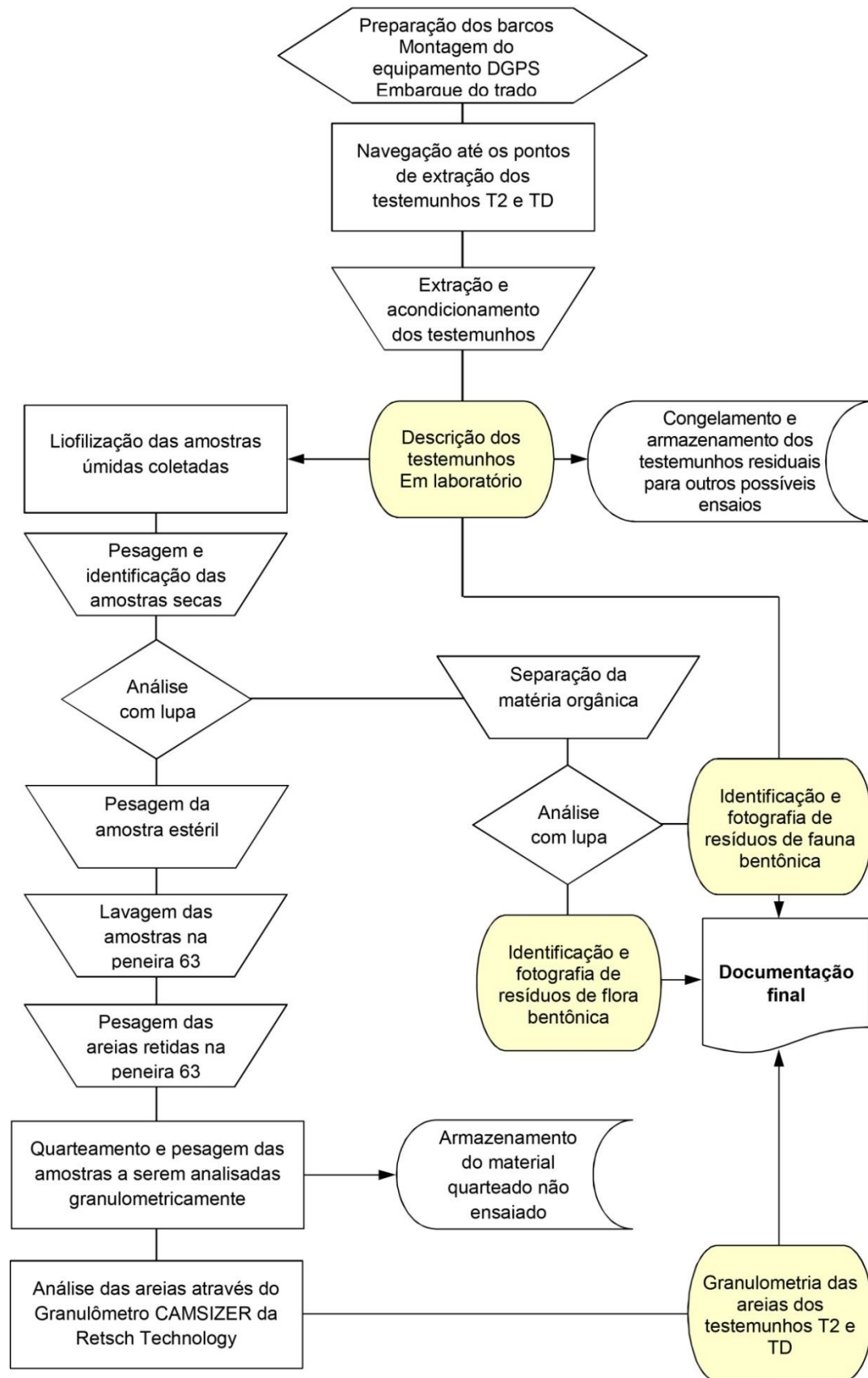


Figura 21 Fluxograma da coleta e análise dos testemunhos T2 e TD.



|  |  |
|--|--|
| Laboratório de Geologia Marinha<br>Projeto: Mestrado José Joaquim Dutra de Andrade<br>Coord. geográficas: 22° 56' 50,48"S; 43° 04' 37,75"O<br>Coord. UTM, Fuso 23K: 7461017.70 S; 697158.47 E<br>Localização: Lagoa de Piratininga | Amostra T2<br>Descrito por: Jose. J. Dutra de Andrade<br>Prof.: (m) 0,00 a 1,60 m<br>Data 13/03/2017<br>Página 01/01 |
|--|--|

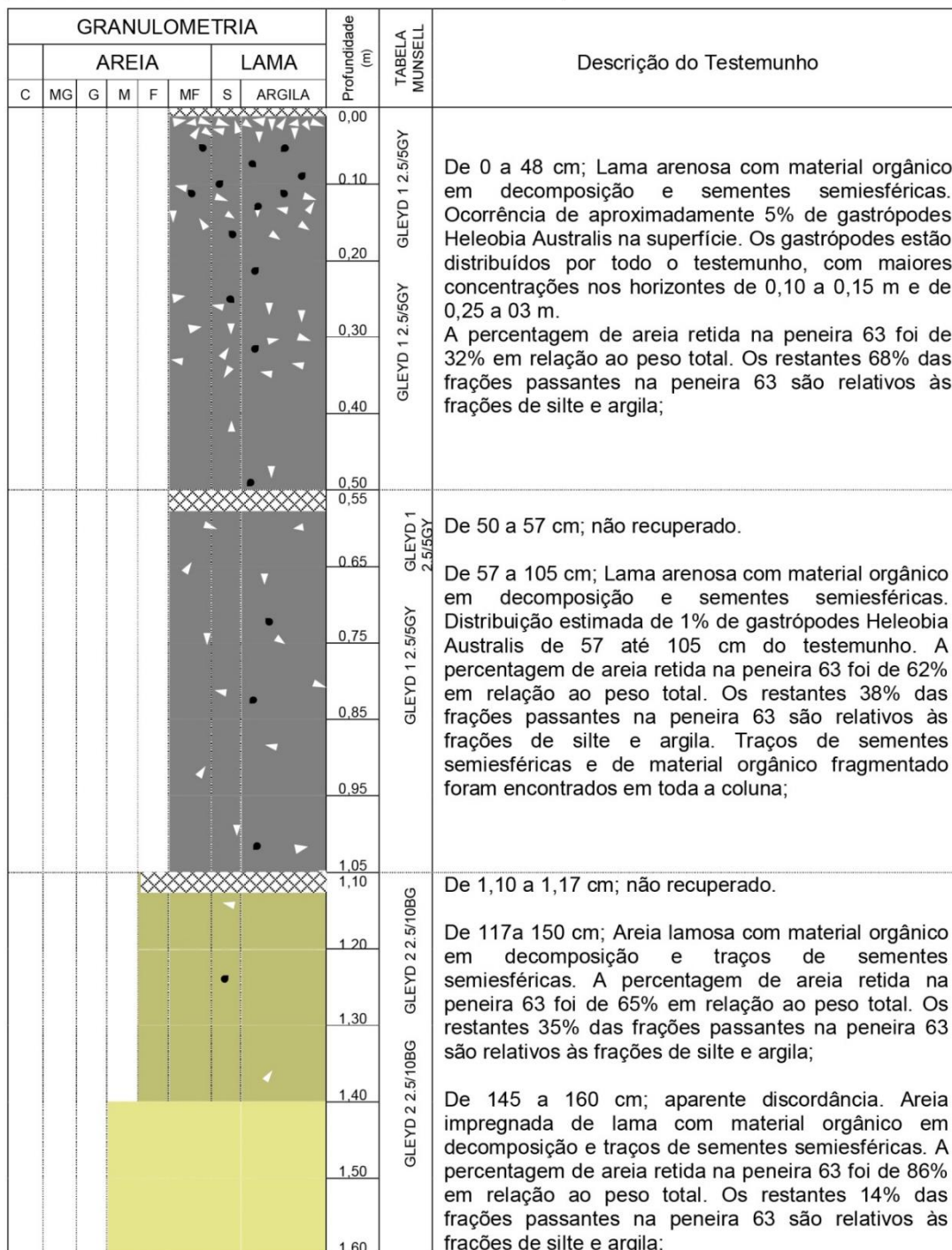


Figura 22 Descrição do testemunho T2.

|   |   |
|---|---|
| Laboratório de Geologia Marinha<br>Projeto: Mestrado José Joaquim Dutra de Andrade<br>Coord. geográficas: 22° 56' 48,89"S; 43° 04' 18,30"O.<br>Coord. UTM, Fuso 23K: 7461059.38 S.; 697713.31 E.<br>Localização: Lagoa de Piratininga | Amostra TD<br>Descrito por: Jose. J. Dutra de Andrade<br>Prof. 0,00 a 1,60 m<br>Data 13/03/2017<br>Página 01/01 |
|---|---|

| GRANULOMETRIA |    |   |   |   |    |      |        | Profundidade (m) | TABELA MUNSELL   | Descrição do Testemunho   |
|---------------|----|---|---|---|----|------|--------|------------------|------------------|---|
| AREIA         |    |   |   |   |    | LAMA |        |                  |                  |   |
| C             | MG | G | M | F | MF | S    | ARGILA |                  |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,00             | GLEYD 1 2.5/5GY  | De 0 a 2 cm; não recuperado.  |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,10             |                  | De 2 a 50 cm; Lama arenosa com material orgânico em decomposição e sementes semiesféricas. Ocorrência de aproximadamente 7% de gastrópodes <i>Heleobia Australis</i> na superfície, e distribuição estimada de 5% de gastrópodes <i>Heleobia Australis</i> de 2 até 50 cm do testemunho. A percentagem de areia retida na peneira 63 foi de 29% em relação ao peso total. Os restantes 71% das frações passantes na peneiras 63 são relativos às frações de silte e argila; |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,20             |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,30             |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,40             |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,50             | GLEYD 2 2.5/10BG | De 50 a 57 cm; não recuperado.  |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,55             |                  | De 57 a 105 cm; Lama arenosa com material orgânico em decomposição e sementes semiesféricas. Distribuição estimada de 2% de gastrópodes <i>Heleobia Australis</i> de 57 até 105 cm do testemunho. A percentagem de areia retida na peneira 63 foi de 48% em relação ao peso total. Os restantes 52% das frações passantes na peneiras 63 são relativos às frações de silte e argila;  |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,65             |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,75             |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,85             |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 0,95             | GLEYD 2 2.5/10BG | De 1,10 a 1,17 cm; não recuperado.  |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 1,05             |                  | De 117a 150 cm; Areia lamosa com material orgânico em decomposição e traços de sementes semiesféricas. A percentagem de areia retida na peneira 63 foi de 64% em relação ao peso total. Os restantes 36% das frações passantes na peneiras 63 são relativos às frações de silte e argila;   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 1,10             |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 1,20             |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 1,30             |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 1,40             | GLEYD 2 3/10BG   | De 150 a 160 cm aparente discordância. Areia impregnada de lama com material orgânico em decomposição e traços de sementes semiesféricas. A percentagem de areia retida na peneira 63 foi de 67% em relação ao peso total. Os restantes 33% das frações passantes na peneiras 63 são relativos às frações de silte e argila;  |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 1,50             |                  |   |
|               |    |   |   |   |    |      |        | 1,60             |                  |   |

Figura 23 Descrição do testemunho TD.

As frações destinadas às análises granulométricas foram identificadas segundo os estratos de seus horizontes e secas por processo de liofilização que é mais demorado, mas facilita o destorroamento por não proporcionar a cimentação das frações finas (passantes na peneira 63).

Após a liofilização (Figura 24) as amostras secas foram destorroadas e pesadas em balança com precisão de miligrama e devolvidas aos invólucros com suas respectivas identificações.



**Figura 24 Liofilização das amostras para análise granulométrica**

A próxima etapa foi a remoção das frações de silte e argila através de lavagem das amostras sobre a tela de uma peneira nº 63 para separar as areias e os elementos orgânicos macroscópicos das frações finas.

O material úmido retido na peneira foi colocado em estufa a temperatura de 50°C. até sua completa secagem em 48 horas. O material seco foi analisado sob lupa Zeiss, retirando-se toda a matéria orgânica. A seguir a amostra foi novamente pesada para fins de determinação do teor de areia em relação as frações de silte e argila daquele horizonte. A triagem manual preservou as frágeis

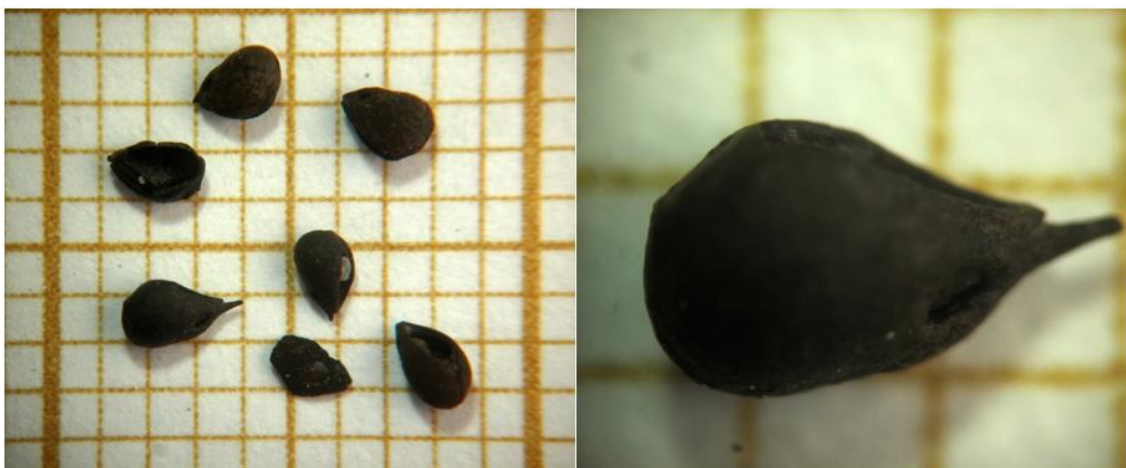


estruturas dos numerosos gastrópodes (Figura 25) e sementes (Figura 26) encontradas. Traços esparsos de outros materiais vegetais foram eventualmente retirados das amostras.



**Figura 25 Colônia de gastrópodes *Heleobia Australis* – se acumulam até 4.000/m<sup>2</sup>.**

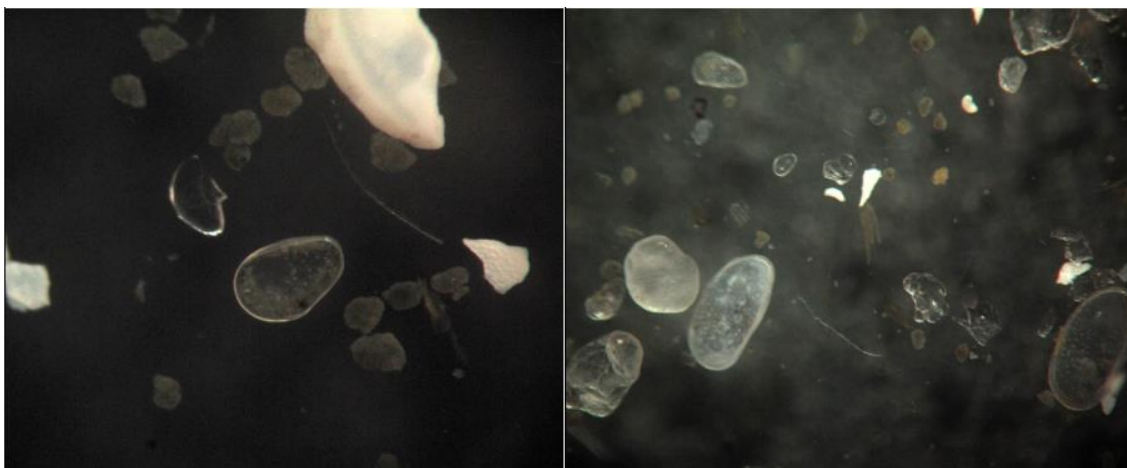
Ambos os testemunhos apresentaram cobertura de mais de 70% de *Heleobia Australis* na superfície dos testemunhos. Os gastrópodes rarearam com a profundidade, mas estiveram presentes até a profundidade de 1,50 m. Todos as ocorrências do *Heleobia* referem-se a indivíduos já mortos.



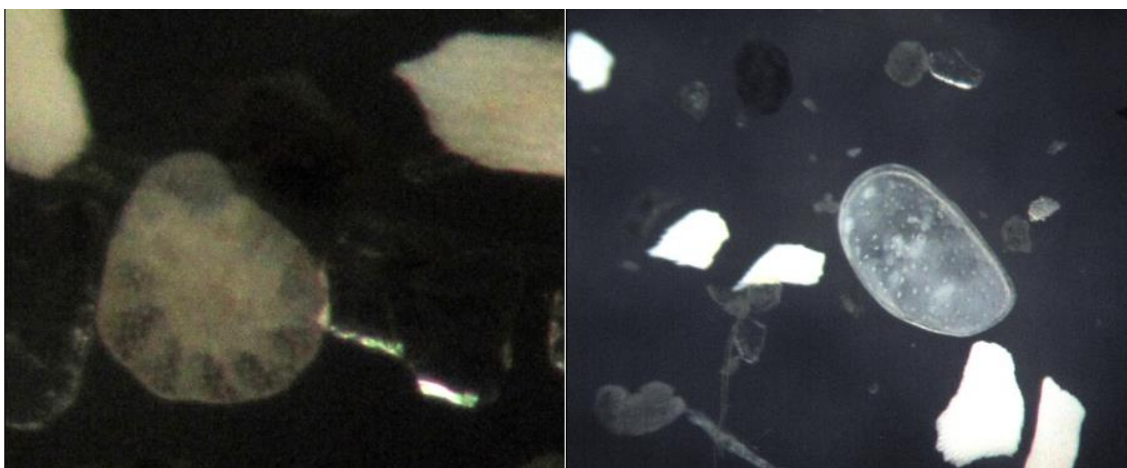
**Figura 26 Sementes semiesféricas, provenientes de algas bentônicas *Charea*.**

Sementes semiesféricas provenientes de algas bentônicas do tipo *Charea* foram encontradas em toda a coluna dos dois testemunhos. Apesar de não apresentar a mesma concentração dos gastrópodes.

Aos ostracodes (Figura 27) foi atribuído papel relevante como coadjuvante no comprometimento da distribuição das algas *Charea* na lagoa de Piratininga, a partir do final da primeira década do século XXI. A Figura 28 mostra também uma foto de Microgastrópodes que também foram observados nos testemunhos.



**Figura 27 Ostracodes, fragmentos de conchas e grãos de areia retrabalhados.**



**Figura 28 Microgastrópodes (à esquerda) e Ostracodes.**

As amostras de areia resultantes do processo de eliminação de finos por lavagem na peneira 63 foram homogeneizadas por quarteamento e misturadas repetidamente. Após quatro ciclos fechados as amostras foram quarteadas duas vezes. A porção representando 75% foi devolvida ao invólucro identificado, enquanto os 25% foram re-embalados, identificados e submetidos ao Granulômetro.

As amostras de areia submetidas ao granulômetro CAMSIZER (Figura 29) são classificadas conforme a tabela de Wentworth. Os resultados típicos obtidos são apresentados como na Figura 30.



Figura 29 Granulômetro CAMSIZER – Labgeo.

| Size class | [mm]    | p3 [%] | Q3 [%] | RDNS_C_3 |
|------------|---------|--------|--------|----------|
| > 4.000    |         | 0.0    | 100.0  |          |
| 2.800      | 4.000   | 0.0    | 100.0  |          |
| 2.000      | 2.800   | 0.0    | 100.0  |          |
| 1.400      | 2.000   | 0.1    | 100.0  |          |
| 1.000      | 1.400   | 2.0    | 99.9   | 0.332    |
| 0.710      | 1.000   | 14.1   | 97.9   | 0.357    |
| 0.500      | 0.710   | 37.2   | 83.8   | 0.380    |
| 0.355      | 0.500   | 23.1   | 46.6   | 0.352    |
| 0.250      | 0.355   | 8.4    | 23.5   | 0.272    |
| 0.180      | 0.250   | 5.3    | 15.1   |          |
| 0.125      | 0.180   | 5.5    | 9.8    |          |
| 0.090      | 0.125   | 3.2    | 4.3    |          |
| 0.063      | 0.090   | 1.1    | 1.1    |          |
|            | < 0.063 | 0.0    | 0.0    |          |

Figura 30 Granulometria segundo o granulômetro CAMSIZER – Labgeo.

Para tipificação e classificação da granulometria das areias é necessário tratamento estatístico obtido através de programa *Grain Size Analysis Program* – GRADISTAT. Entrada típica de dados de areias abaixo da peneira 63 é vista na Tabela 3.

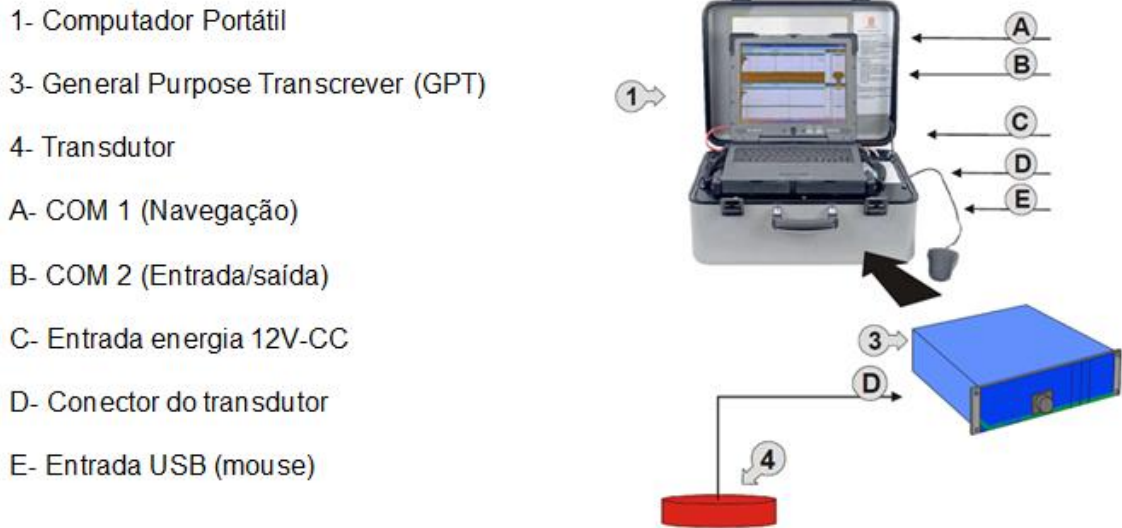
Tabela 3 Entrada para o GRADISTAT.

| Aperture<br>(microns) | Class Weight<br>Retained (g or %) |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 90000                 |                                   |
| 63000                 |                                   |
| 45000                 |                                   |
| 31500                 |                                   |
| 22400                 |                                   |
| 16000                 |                                   |
| 11200                 |                                   |
| 8000                  |                                   |
| 5600                  |                                   |
| 4000                  |                                   |
| 2800                  |                                   |
| 2000                  | 0,2                               |
| 1400                  | 1,2                               |
| 1000                  | 6,7                               |
| 710                   | 28,9                              |
| 500                   | 33,3                              |
| 355                   | 13,4                              |
| 250                   | 4,9                               |
| 180                   | 4,8                               |
| 125                   | 3,9                               |
| 90                    | 2,2                               |
| 63                    | 0,5                               |
|                       |                                   |

### 3.3 Batimetrias , Perfilagem do Subfundo Lagunar

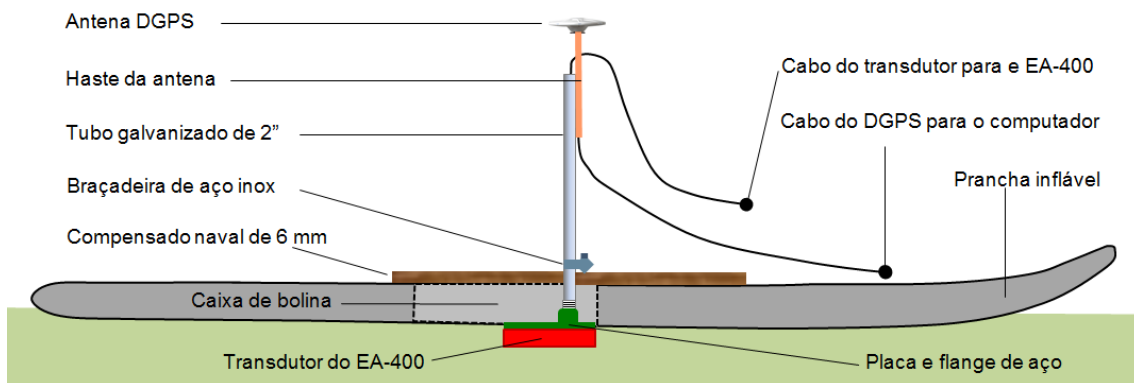
A batimetria da lagoa de Piratininga foi levada a cabo com o equipamento EA-400 configuração IP56 portátil, da Kongsberg Maritime, sonar mono feixe de dupla frequência, com capacidade de perfilagem do subleito, como descrito na Figura 31.





**Figura 31 Adaptado do Operator´s Manual EA-400. Kongsberg Maritime.**

O EA-400 ainda não havia sido testado em lâminas d'água rasas e foi necessário adaptar o equipamento à embarcação que seria empregada no levantamento. A solução proposta por (DIAS, 2016) funcionou a contento como na Figura 32.



**Figura 32 Adaptação do transdutor para uso em águas rasas-Dias, G.T.M.(2017).**

A batimetria com perfilagem foi realizado no dia 31 de janeiro de 2017, as 09h20min da manhã, na vazante da segunda maré do dia, no quarto dia depois da Lua Nova.

A chegada à garagem das canoas foi as 08h40min, iniciando-se os preparativos. A prancha foi inflada e nela fixados o transdutor e a antena do DGPS no mesmo eixo (Figura 33). O console do EA-400 e o computador com o monitor de sondagem e navegação adaptado a meia nau da canoa. A canoa foi

lançada na água, a prancha também, os cabos todos conectados e testados e verificado o offset do transdutor.

As baixas profundidades e grande espessura de lama obrigaram a saída a remo até uma posição a noroeste da Ilha do Modesto

A canoa foi equipada com um motor de 3 Hp, de propriedade do Prof. Gilberto T. M. Dias. Na foto da Figura 34 é possível ver a prancha presa ao costado da canoa, funcionando como plataforma para o transdutor. O arranjo da prancha inflável portando o transdutor, independente da canoa lotada de equipamentos e pesquisadores, mostrou-se adequado e funcionou bem. O transdutor em nenhum momento foi perturbado por variações na distribuição de pesos dentro da canoa, por movimentação de pessoas, uso de remos ou acionamento e controle do motor.



Figura 33 No primeiro plano transdutor e DGPS, ao fundo “Vandeco” e o EA-400.



**Figura 34 Saída à remo até o noroeste da Ilha do Modesto, já adquirindo dados.**

O primeiro trecho da batimetria foi iniciado a leste da ilha do Pontal, e seguiu em direção ao oeste, em rumo pouco acima do eixo maior da lagoa. As águas turvas, verde oliva pálido, mostravam-se piscosas. Grande número de tainhotas (paratis) desacostumadas ao barulho de um motor de popa saltavam para todos os lados, algumas batendo no costado da canoa, até as proximidades do morro Boqueirão. Já as baixas profundidades da lagoa limitaram o deslocamento do conjunto canoa/prancha. A entrada na lagoa do Boqueirão, limitada pelo morro do mesmo nome mostrou-se acessível até o início da praia da Penha. Dali em diante não foi mais possível seguir no rumo oeste. A meio caminho entre o Morro do Boqueirão e a ponta leste da ilha do Tibau as profundidades inviabilizaram o progresso do conjunto.

A batimetria foi retomada no canal do Boqueirão, seguindo próxima a praia da Tia Chica, a praia do Santinho e passando pela Pedra das Marrecas e a ilha (hoje istmo) do Pontal. Um próximo registro foi iniciado em meio a margem sul, em percurso sudoeste-nordeste, em seguida sudeste-noroeste, depois norte-sul, novamente sudeste-nordeste até as proximidades da Pedra do Bananal e concluindo a perna próxima a terra. A última perna foi iniciada a noroeste da Pedra das Marrecas em direção ao porto do Vandeco, sendo lá concluída.

O processamento dos dados do EA 400 resultou em dados batimétricos precisos na frequência de 200 KHz (Figura 35 e Figura 36).

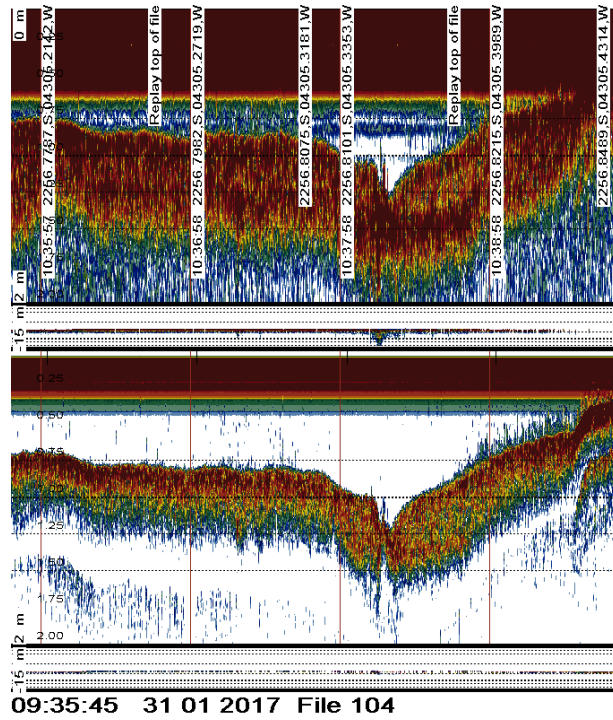


Figura 35 Registro do EA 400 em um dos trechos mais fundos da lagoa.

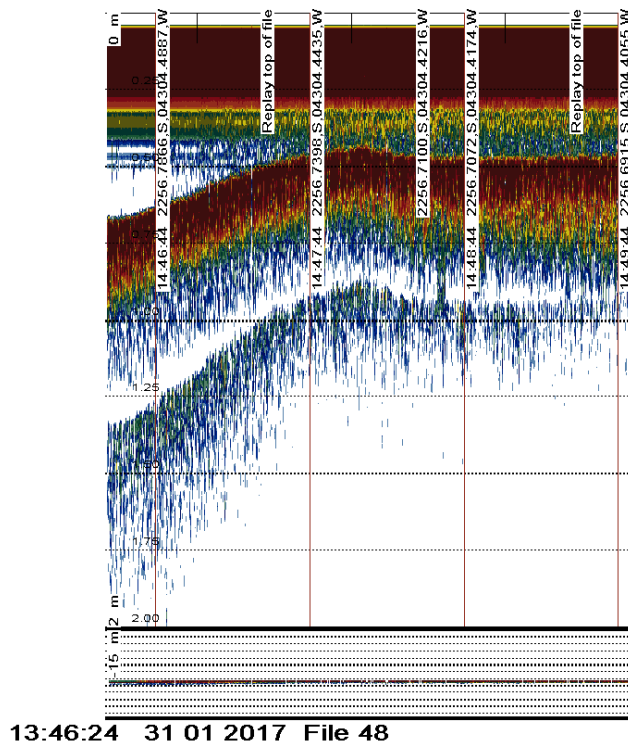


Figura 36 Registro do EA 400 na parte submersa do pontal.



### 3.3.1 O Pontal Arenoso de Piratininga.

Tido como um dos principais indicadores do processo de assoreamento da lagoa de Piratininga, o pontal arenoso que se projeta em direção ao sul a partir da Ilha do Pontal foi objeto de levantamento para estudo (Figura 37 e Figura 38).

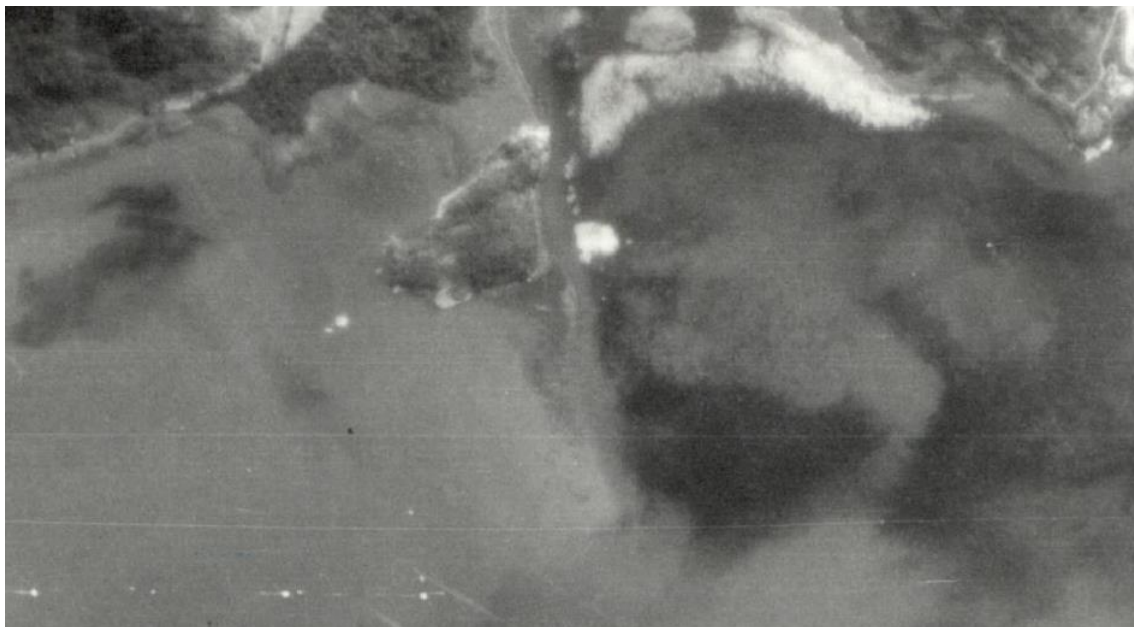


Figura 37 Foto de 1973. Ilha do Pontal. Pontal submerso e margens ainda desocupadas.

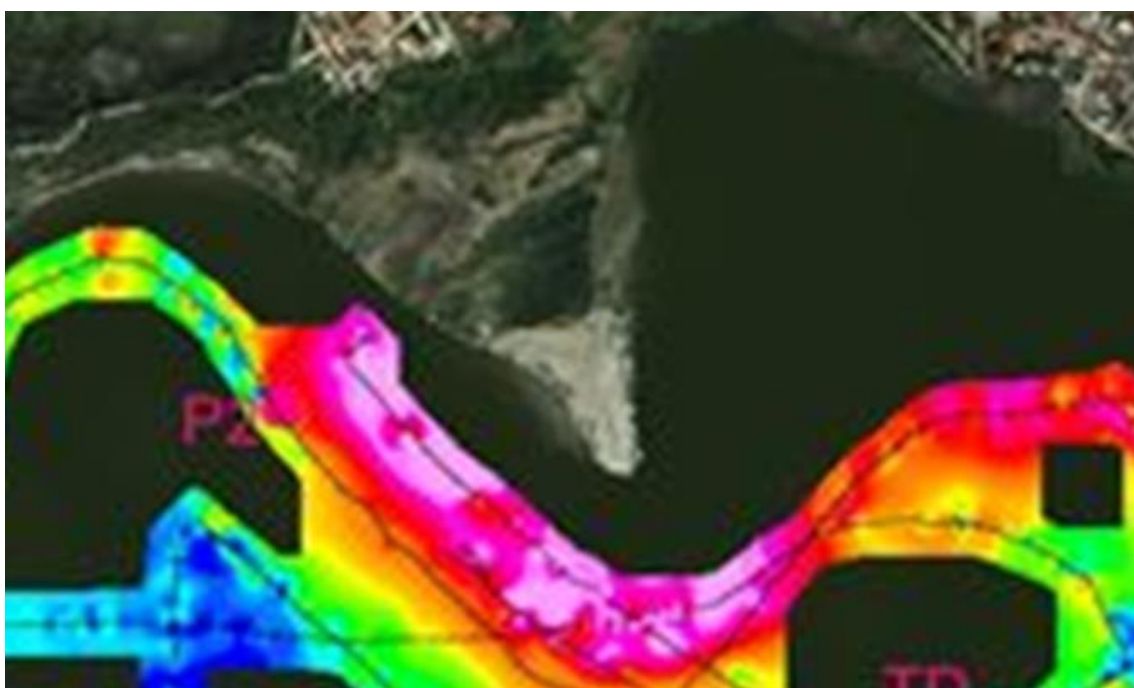


Figura 38 Foto atual aérea e batimetria. O pontal exposto e batimetria da proximidade.

### 3.4 Análise de Dados Lagunares Pretéritos

O sistema lagunar sofreu intervenções importantes através do tempo, que contribuíram para a alteração de suas condições originais, com impactos. A Tabela 4 resume as principais intervenções levantadas.

**Tabela 4 Fatores de mudança**

| Obra                           | Responsável              | Ano  |
|--------------------------------|--------------------------|------|
| Valas entre as lagoas          | S.C. Malária (Federal)   | 1922 |
| Canal de Camboatá              | DNOS (Federal)           | 1949 |
| Canal de Itaipú                | VEPLAN (Imobiliária)     | 1979 |
| Comporta do Camboatá           | PMN (Municipalidade)     | 1992 |
| Aterro das margens (ciclovía)  | PMN (Municipalidade)     | 1993 |
| ETE Camboinhas                 | Aguas de Niterói (Priv.) | 2002 |
| ETE Itaipu                     | Aguas de Niterói (Priv.) | 2004 |
| Túnel e comportas do Tibau     | INEA (Estadual)          | 2008 |
| Dragagem Parque Ilha Tibau     | INEA (Estadual)          | 2013 |
| Modelização do Sistema Lagunar | COPPE (UFRJ)             | 2013 |

Dentre os fatores de mudança citados acima a ocupação humana está contemplada pela contribuição de duas Estações de Tratamento de Esgoto que após processar as águas servidas devolve os efluentes para o sistema, sendo a lagoa de Itaipu seu principal destino.

Do elenco listado acima duas obras foram fatais no comprometimento do sistema original. O canal de Camboatá, que comunicou a lagoa de Piratininga com a de Itaipú e a abertura e fixação por guias correntes de rocha, do canal de comunicação entre a lagoa de Itaipú e o mar. Piratininga perdeu a capacidade de acumular e reter água a partir de 1979, tornando-se vulnerável a períodos de estiagem menos intensos. As fotos das Figura 39 e Figura 40 mostram a lagoa cheia em 1973, com ilhas e praias e com seu fundo quase totalmente seco em 1993. A foto Figura 40 continua mostrando a totalidade do fundo da lagoa de Piratininga quase completamente seco. A Figura 41 mostra a superposição da batimetria realizada com a da ENGEVIX levantada de 2001.



**Figura 39** Ortofoto Piratininga 1973. As ilhas ainda são ilhas, o pontal está submerso e o lido da lagoa aparece desobstruído e intacto.



**Figura 40** Ortofoto Piratininga 1993. A lagoa tem água apenas nos locais mais fundos. Está seca e o seu lido aparece vegetado e urbanizado.



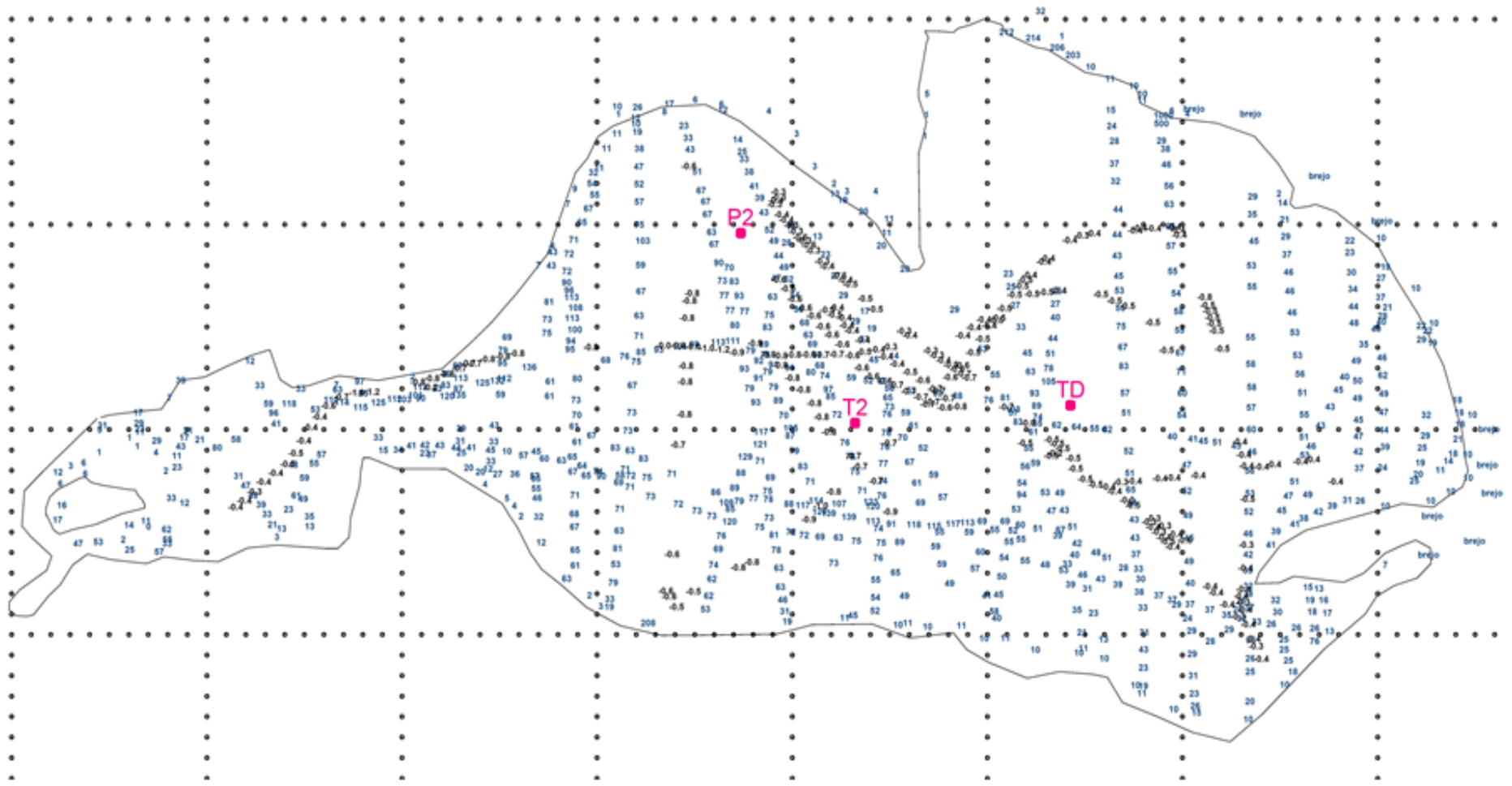


Figura 41 Superposição da batimetria realizada com a da ENGEVIX levantada de 2001.

(OLIVEIRA, 1948) e (IRELAND, 1988) deixaram registros da variação do nível da lagoa de Piratininga na década de 40 e de 80 respectivamente, como mostram as Figura 42 e Figura 43. As medições de OLIVEIRA foram feitas em relação ao Nivel do Mar enquanto as de IRELAND, compiladas da Secretaria Estadual de Rios e Lagoas eram ortométricas. Para efeitos de comparação os dados de OLIVEIRA foram convertidos para a base ortométrica para fins de comparação.

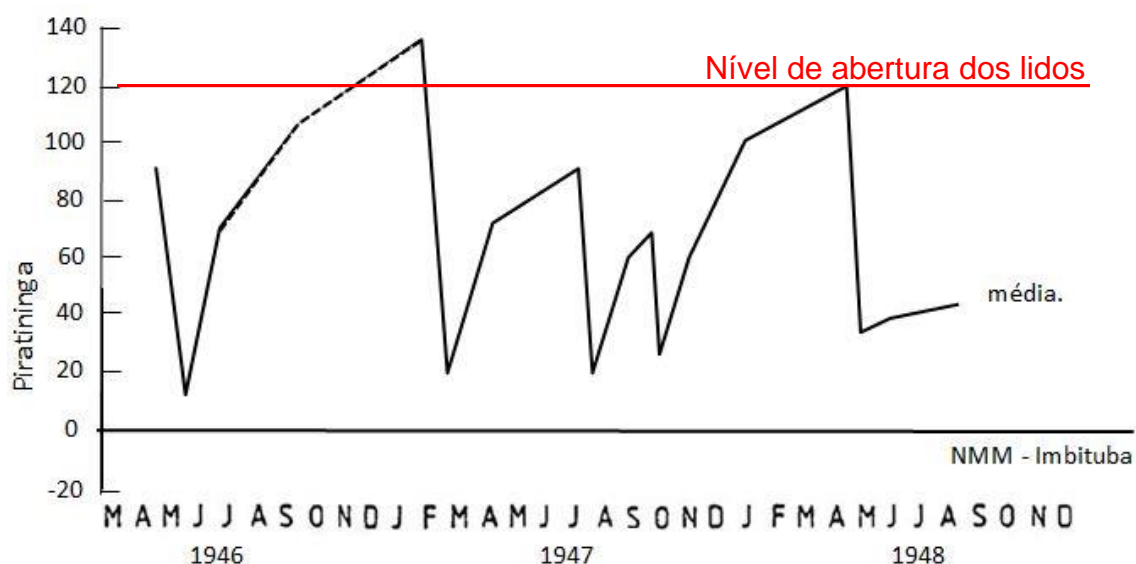


Figura 42 Observações do Lejeune convertidas para NMM Imituba.

O gráfico de (OLIVEIRA, 1948) mostra uma lagoa capaz de atingir níveis 1,20 m acima do NMM. Seu pior resultado pouco mais de 40 cm na seca de 1948.

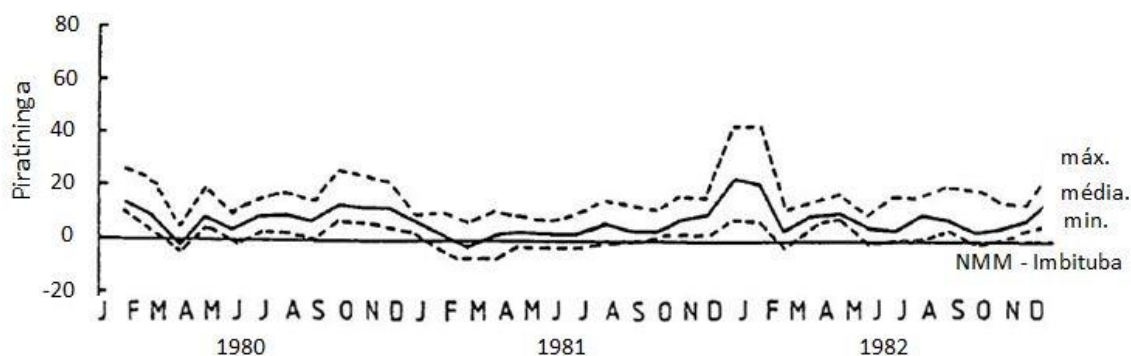
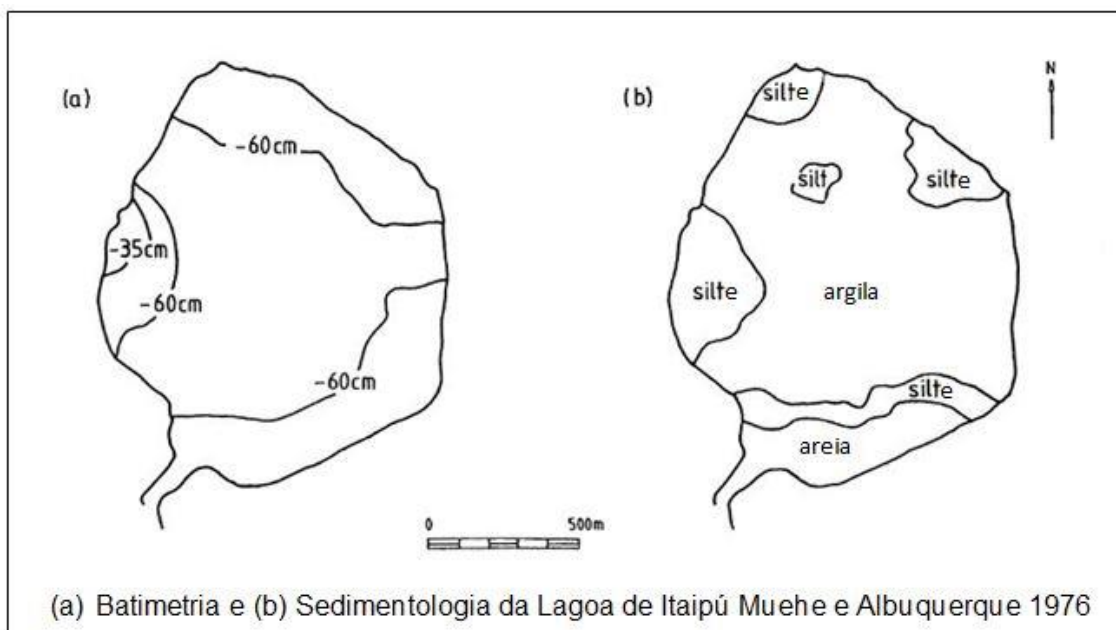


Figura 43 Observações da SERLA compiladas por Ireland (1988).

Os registros compilados por IRELAND mostra uma lagoa com água próxima ou abaixo do NMM, evidenciando incapacidade de acumulação.

Outras informações pretéritas e pertinentes ao escopo de trabalho referem-se a batimetria e a sedimentologia realizados por Muehe e Albuquerque em 1976 (Figura 44) e compilados no trabalho de IRELAND (1988).



**Figura 44 Batimetria e sedimentologia, lagoa de Itaipú compiladas por Ireland (1988).**

A batimetria da lagoa de Itaipú realizada por (MUEHE; & ALBURQUERQUE, 1976) mostram profundidades que não iam além de sessenta centímetros.

O mapa sedimentológico produzido três anos antes da abertura do canal da lagoa de Itaipú mostra um ambiente de sedimentação pouco energético com argila no centro, silte mais para as bordas próximas a desembocadura dos cursos afluentes. No cordão litorâneo, próximo ao canal natural o mapa mostra um grande faixa de areia sobre o silte, mostrando sinais de um ambiente mais energético próximo ao lido, que se situava sobre o canal, como bem mostra a Figura 45.

A ocorrência desta faixa de areia em relação ao canal natural assemelha-se a mesma ocorrência descrita por (RESENDE, 1995) na entrada da lagoa de Piratininga, na face sudeste próximo ao lido.

A evolução do status batimétrico de Itaipú, após Muehe, pode ser acompanhado pelas batimetrias do INPH realizada em 1988 (Figura 45) após dragagem do fundo da lagoa de Itaipu, e pela batimetria feita por (LAVENERE-WANDERLEY, 1999) conforme Figura 46.

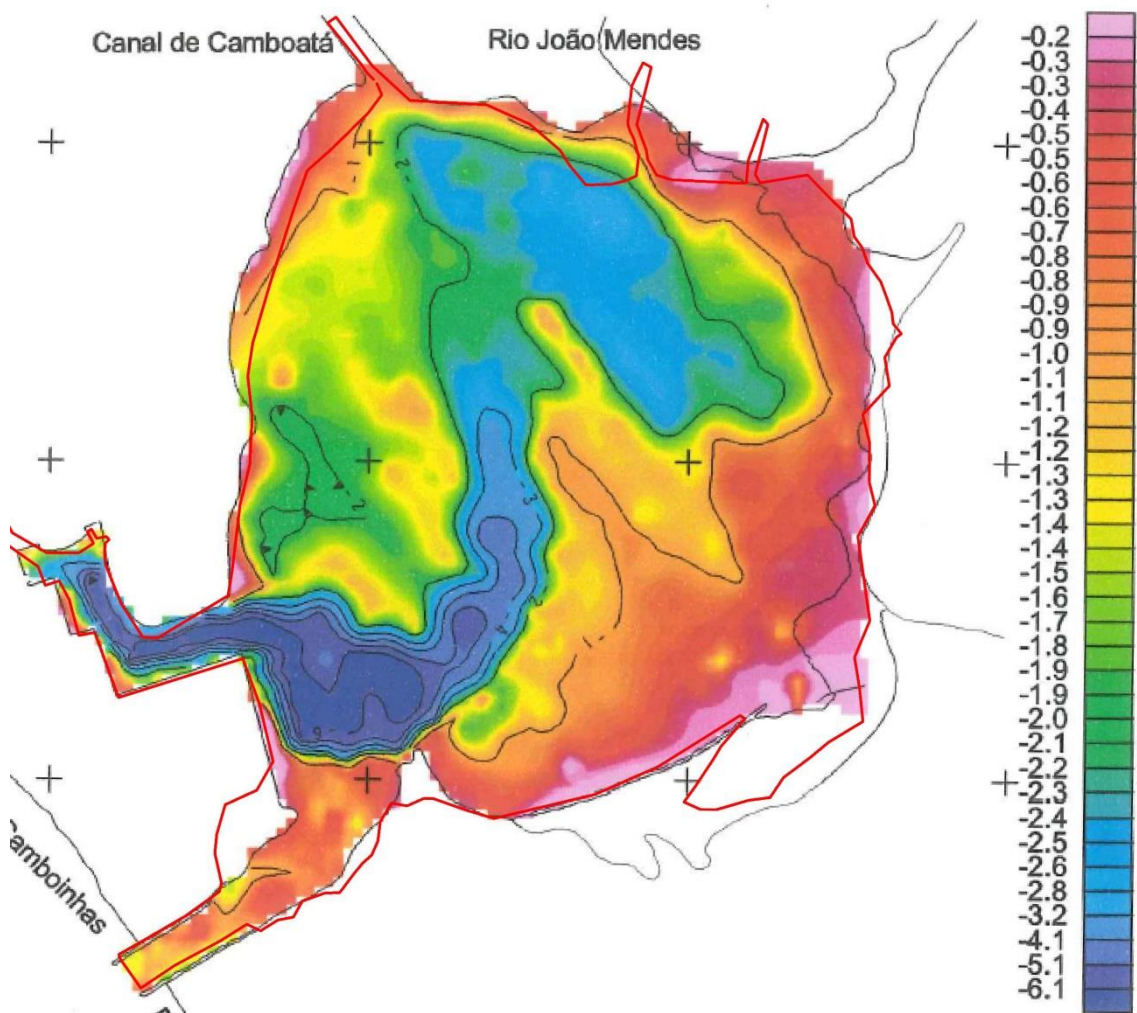


Figura 45 Batimetria do INPH – 1988 LAVÈRE-WANDERLEY (1999).

A batimetria de Muehe comparada a do INPH mostra uma lagoa com um fundo dragado a seis metros um canal com profundidades submétricas e um delta de maré enchente em contato brusco com a margem mais profunda da cavidade dragada (vários casos de afogamento foram relatados neste local não sinalizado). A faixa de areia identificada por (MUEHE; & ALBURQUERQUE,



1976) aparentemente foi retrabalhada por pelo canal aberto com o mar, contribuindo com o leque identificado como delta de maré.

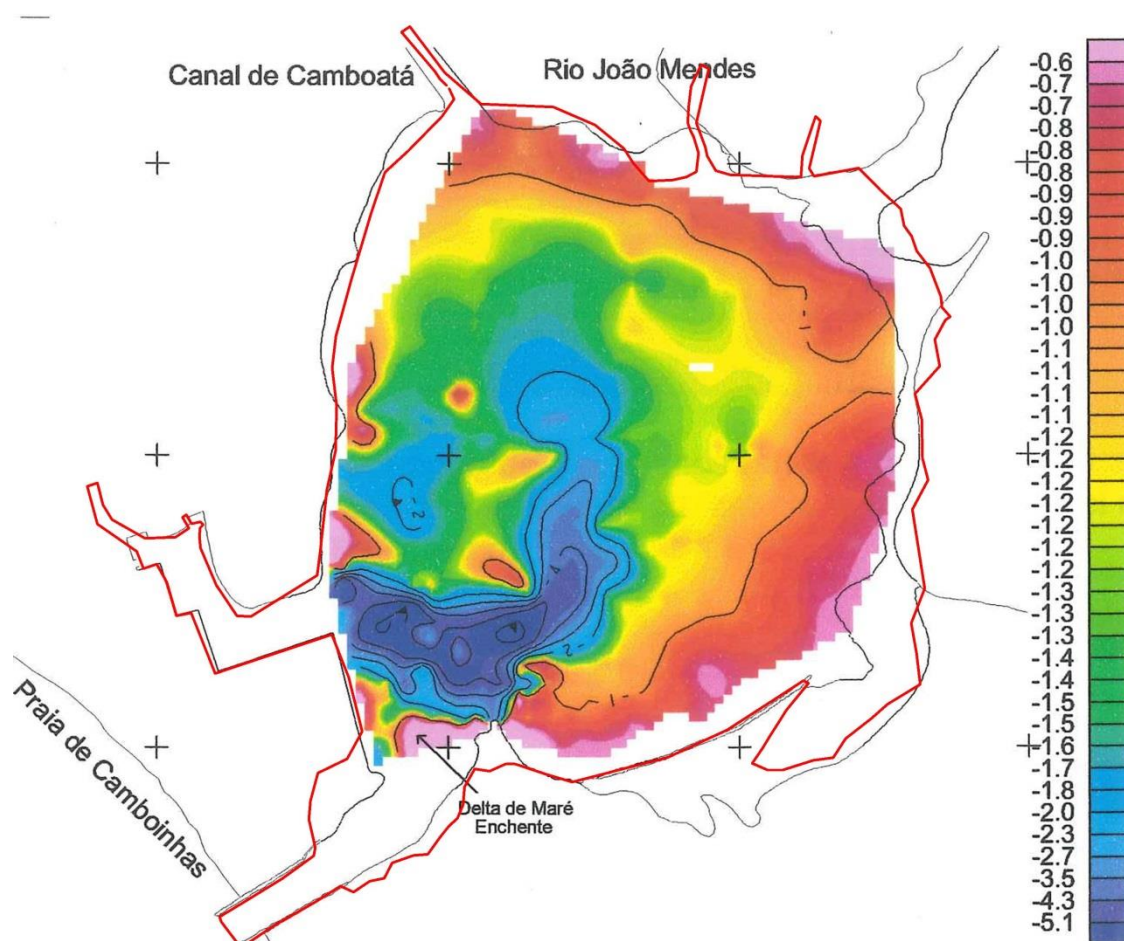


Figura 46 Batimetria por LAVÈRE-WANDERLEY (1999).

A batimetria de (LAVENERE-WANDERLEY, 1999) efetuada onze anos após a do INPH encontra uma lagoa ainda com profundidades de cinco metros. Nos onze anos entre uma batimetria e outra houve assoreamento apenas próximo a margem norte da lagoa adjacente a desembocadura dos canais fluviais. A posição do delta de maré permaneceu estável sem avançar para a lagoa ou ser levado para o mar.

O último elemento do sistema lagunar a ser considerado nesta revisão é o chamado delta de maré enchente formado no canal da lagoa de Itaipú. A primeira foto aérea é de 1973 (Figura 47) e mostra o delta instalado com tamanho e forma semelhantes aos dias de hoje, quando comparado com foto de 2026 (Figura 48).



**Figura 47 Delta de maré enchente – Itaipu 1973.**

Em 1973 a margem esquerda do canal não mostra sinais de erosão naquela época, pois o canal principal de escoamento estava adjacente à margem direita. Ao longo do tempo foi criado um banco arenoso bloqueando o canal da direita e fazendo que ele migrasse para a margem esquerda.



**Figura 48 Delta de maré enchente – Itaipu 2016.**

Em 2016 a margem esquerda citada na Figura 47 se encontra erodida pelo trabalho permanente do escoamento da lagoa de Itaipú.

### 3.5 Nivelamentos

O estudo sobre as condições atuais do sistema lagunar Itaipú Piratininga passa pelo levantamento de sua geometria, notadamente a compreensão das referências de nível (RRNN) relativas à Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). No planejamento dos trabalhos de campo foi considerada a ocupação de no mínimo três RN com equipamento DGPS para determinação da altitude elipsoidal e posterior cálculo da Ondulação Geoidal “N” na área estudada.

Foi feita pesquisa junto ao IBGE para determinar o elenco de Referências de Nível disponíveis nas proximidades do sistema lagunar Itaipú Piratininga. Dez RN foram identificados como mais convenientes. Procedeu-se ao reconhecimento e verificação de integridade das seguintes estações geodésicas do IBGE: RN 1009, *No último degrau da escada, lado esquerdo da porta principal da Igreja de São Francisco Xavier, no bairro de mesmo nome*; RN 3000F, *Na base de concreto, do lado de dentro do muro do late Clube Piratininga, entre os dois portões de entrada do clube, na Rua Milton Rocha Sagres, em Piratininga*; RN 3000H, *No monumento, ao lado do D.P.O de Piratininga, no entroncamento das Avenidas Tamandaré com Acúrcio Torres, em Piratininga, Niterói-RJ*; RN 3000J, *No piso interno, lado esquerdo do box de lavagem do Auto Posto de Gasolina Esso Maralegre, na Av. Almirante Tamandaré, nº 665, com a Rua Átila Nunes, em Piratininga*; RN 3000L, *Na soleira do portão de entrada, lado esquerdo, da 1ª Igreja Batista de Itaipu*; RN 3000 M, *Na base de sustentação da torre de telefonia celular da Telerj, na estrada Francisco da Cruz Nunes, nº 2656, em Itaipu*; Os únicos em condição de uso são o 1009E, o 3000F e o 3000M. O 1009E e o 3000F são cegos às constelações dos satélites do Sistema Global de Posicionamento e tiveram leituras de suas altitudes elipsoidais executadas em suas proximidades e depois transportas para comparação com aquelas dos RN RAAP referidas ao SIRGAS 2000. Os 3 RNs escolhidos estão posicionados como na Figura 49.



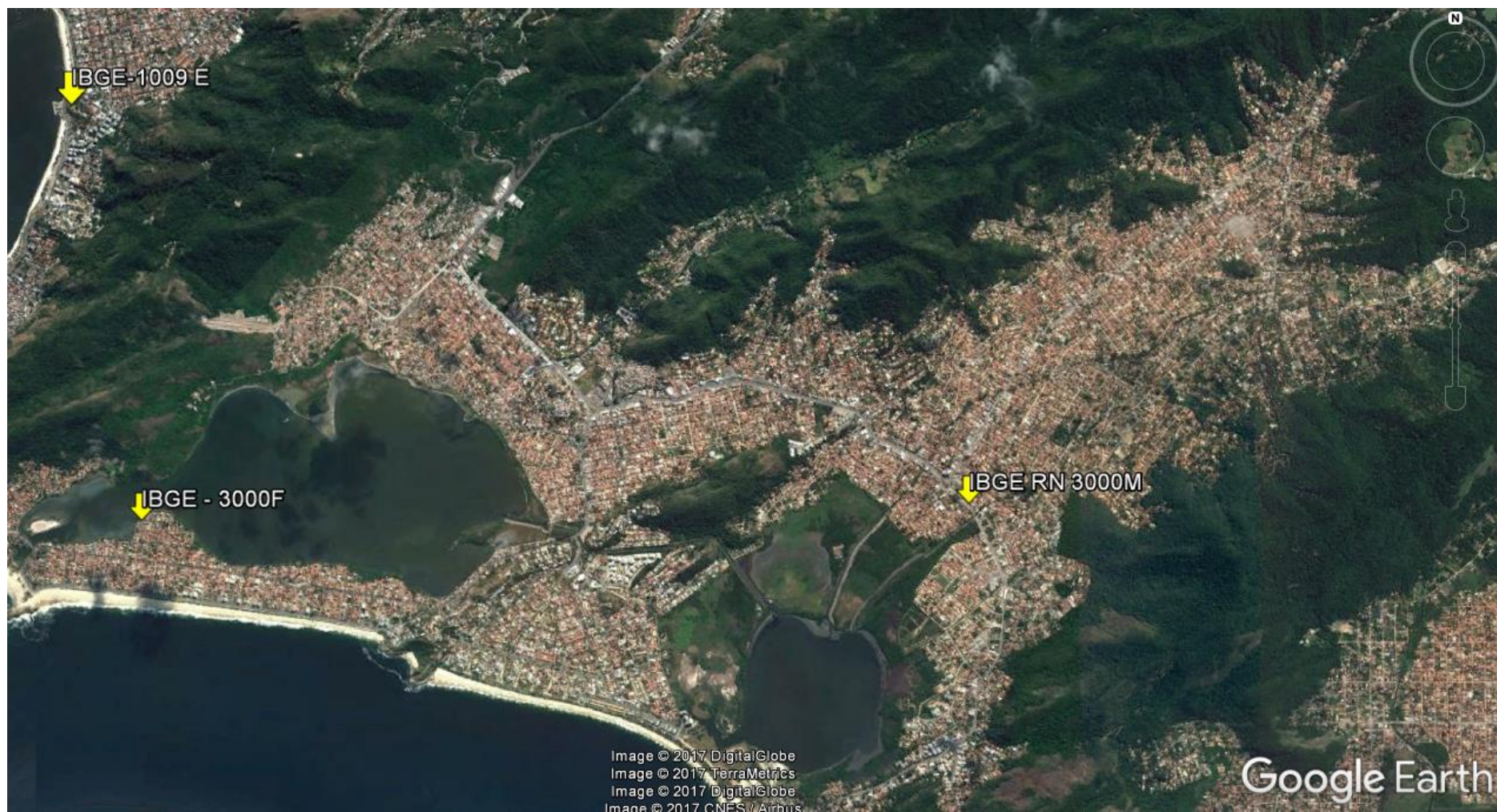


Figura 49 Posição geográfica dos três RN escolhidos e ocupados para medição da Ondulação do Geóide.



### 3.5.1 Nivelamentos Sobre o Elipsoide



Figura 50 Aquisição de posição e altura elipsoidal próximo ao RN 3000F.

As primeiras coordenadas x, y e z a serem adquiridas foram o ponto central de um tampão nas proximidades do RN 3000F (Figura 50), situado junto a pilastra esquerda do portão de entrada do late Clube de Piratininga, atualmente em uso pela companhia de limpeza urbana CLIN. A antena realizou aquisição estática durante vinte minutos sobre o ponto. Duas hastes metálicas separaram a base da antena ao centro do tampão metálico.

O RN 3000F está bem protegido, mas é inacessível a sinais de satélites, pois tem sobre si uma laje de concreto encimada por telhado de cerâmica e sombreado por basto arvoredo.

O RN 3000M (Figura 51) foi o único a enxergar satélites e sobre ele fez-se leitura estática de vinte minutos. Apesar do acesso ao RN e da leitura direta, procedeu-se a uma segunda leitura da altura elipsoidal, com uma constelação maior de satélites e seguindo o procedimento de transporte.



**Figura 51 Ocupação do RN 3000M, junto à base da torre de telefonia da Oi.**

O ponto nivelado foi a extremidade noroeste da nova boca de lobo da drenagem pluvial da pista do transporte público nos moldes do BRT, atualmente em construção. Analogamente à ocupação do RN 3000M, foi feita medição estática por vinte minutos. Para facilitar a leitura junto a torre foram usadas quatro hastes metálicas separando a base da antena do DGPS da placa metálica do RN e da extremidade noroeste da nova boca de lobo.



O RN 1009E (Figura 52) está bem preservado junto ao portal esquerdo da igreja de São Francisco Xavier, em São Francisco. Todavia frondosa mangueira e a proximidade da empena frontal da igreja escondem a parte do céu por onde orbitam os satélites de posicionamento. A Figura 53 mostra a montagem da estação DGPS fixa no RN no canto Sudoeste do telhado do bloco das Geociências.



**Figura 52** Leitura nas proximidades do RN 1009E.



**Figura 53** Montagem da antena fixa no telhado do prédio das Geociências.

A estação fixa procedeu à aquisição de dados durante todos os trabalhos de campo.

Outro nivelamento de natureza incomum foi levado a cabo para determinar a altitude elipsoidal e posteriormente a altitude ortométrica de um ponto conhecido e bem estudado sobre o fundo da lagoa de Piratininga. Neste ponto de coordenadas  $22^{\circ} 56'50,48''$  Sul e  $43^{\circ} 04'37,75''$  Oeste, foi extraído o testemunho T2 por (RESENDE, 1995) e novamente pelo autor em 2017.

O posicionamento da antena no ponto desejado demandou um início dos trabalhos com o nascer do sol, com a prancha inflável de *stand up*, uma caixa impermeável para guardar e proteger o equipamento eletrônico, uma vara de bambu para juntamente com o remo garantir a imobilidade da prancha, hastes metálicas para cravar no fundo da lagoa e posicionar a antena e um prumo para ler a profundidade vide Figura 54.

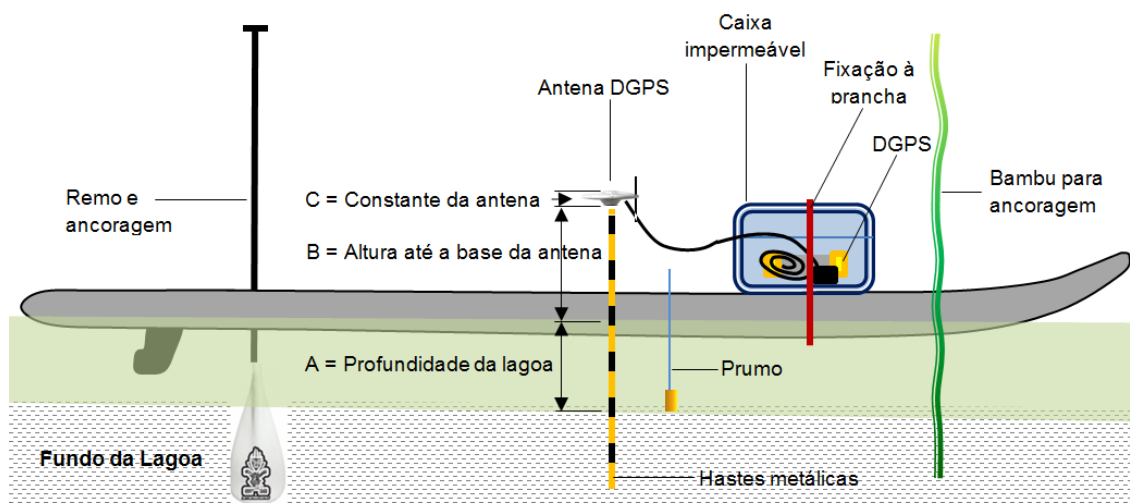


Figura 54 Equipamento e materiais usados no nivelamento do fundo da lagoa.

As aquisições estáticas DGPS realizadas no meio da lagoa de Piratininga foram de vinte minutos em condições de céu favoráveis (vide Figura 55 e Figura 56). A partir do segundo ponto começou a ventar comprometendo outras possíveis aquisições.

Os dados coletados pela estação fixa e pelo rover foram pós-processados para determinação do X, Y, Z relativos à posição geográfica e altitude elipsoidal.





**Figura 55** Em direção ao centro da lagoa para nivelamento ortométrico do ponto T2.

O trabalho de cunho experimental foi iniciado ainda cedo de sorte que as condições meteorológicas fossem favoráveis, o que realmente aconteceu.



**Figura 56** A antena do DGPS fixada exatamente sobre a posição anterior do ponto T2.

O método funcionou como concebido, apesar de se mostrar mais trabalhoso do que o imaginado. O início do vento atrapalhou a “ancoragem”.

### 3.5.2 Transportes e Nivelamentos Ortométricos

Os pontos em que se adquiriram dados para determinação das altitudes elipsoidais foram novamente ocupados, desta vez para a determinação de altitudes ortométricas. Todos os pontos estudados foram nivelados em relação a um RN do IBGE próximo, através de aparelho topográfico Estação Total Leica.

A área próxima ao RN 3000F propiciou o estacionamento do aparelho de tal maneira que de um mesmo lugar era possível visar o RN propriamente dito, o ponto de apoio nivelado por DGPS, e a laje do sangradouro do Tibau. Outros três pontos de apoio foram coletados para efeitos de reambulação e ajustagem da base de dados LiDAR de Niterói que também inclui a região Oceânica.

Na Figura 57 o prisma está posicionado sobre o RN 3000F a uma altura de 1,682 metros, que é a mesma altura marcada na lateral do aparelho (seta vermelha). A altura foi medida pelo próprio prisma, fazendo coincidir seu eixo horizontal com a marca da visada. Na parte inferior esquerda da foto, a leitura no visor da estação: O ângulo da leitura em relação ao norte ( $121,7859^\circ$ ), a distância horizontal da visada (16,371m) e a diferença de nível (0,549m). A Figura 58 mostra a visada para a laje do Tibau e a Figura 59 mostra a planta das leituras entorno do RN 3000F e dos nivelamentos de verificação LIDAR.



Figura 57 Estação Total Leica, visada no RN 3000F e leituras do aparelho.



Figura 58 Leitura do RN 3000F, nivelamento da laje do vertedouro do Tibau. Determinação da altitude ortométrica da laje do sangradouro.



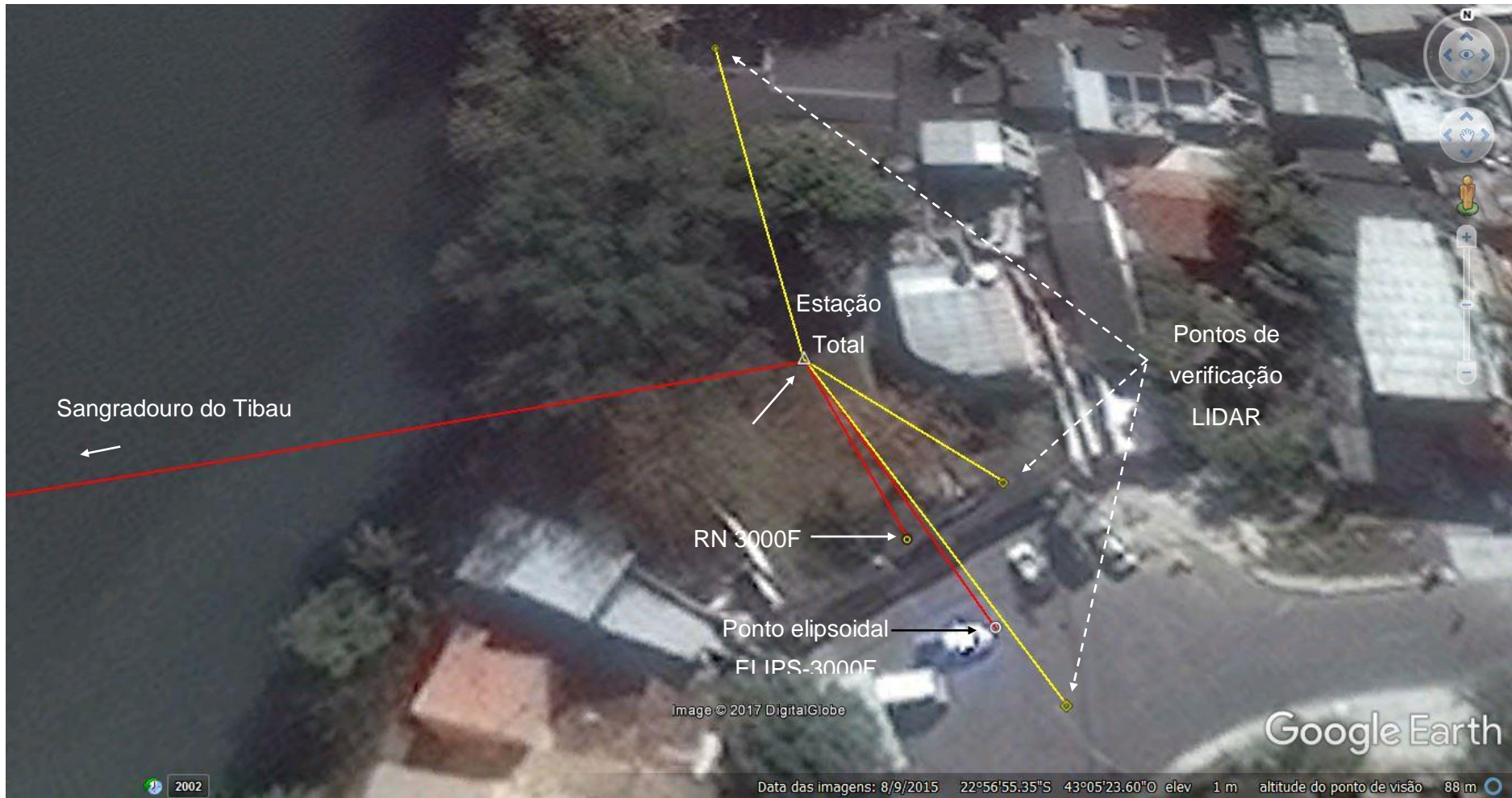


Figura 59 Em vermelho visadas para o Tibau, RN 3000F e ponto elipsoidal; em amarelos nivelamentos de verificação LIDAR.

O nivelamento ortométrico da laje do vertedouro foi feito com a estação diretamente da mesma posição em que esta enxergava o RN 3000F (Figura 60).



**Figura 60** Foram feitas três visadas do RN 3000F para a laje do sangradouro.

Foi realizada mudança de estação para as proximidades do sangradouro do Tibau para determinação da altitude ortométrica do nível superior do sangradouro, atualmente nível mínimo da lagoa de Piratininga (Figura 61 e Figura 62).



**Figura 61** Determinação da altitude ortométrica do nível da lagoa.





Figura 62 Mudança da estação para o Tibau Verificação do RN da SERLA, da laje do Tibau e do nível superior do sangradouro.

O próximo RN a ser ocupado foi o 3000M, na base da torre de telefonia da Oi, em Itaipú.

Tanto o RN 3000M (Figura 63) quanto o ponto elipsoidal (Figura 64) medido nas proximidades estavam acessíveis, apesar do remanejamento de todos os postes da AMPLA situados no entorno.



**Figura 63 Prisma sobre o RN 3000M.**



**Figura 64 Medição ortométrica sobre o ponto ELIPS-3000M.**

Os pontos elipsoidais, para efeitos de apresentação, foram nomeados conforme a proximidade do RN mais próximo acrescentando-se “Elipsoidal” a identificação do IBGE.



O RN 10009E Figura 65 encontra-se bem protegido, mas é de eficiência limitada quanto a outras medições diretas que não ortométricas. A Figura 66 mostra a medição ortométrica sobre o ponto ELIPS-1009E.



**Figura 65 Definindo a altitude do aparelho. Prisma sobre RN 1009E.**



**Figura 66 Medição ortométrica sobre o ponto ELIPS-1009E.**

O estacionamento do aparelho no pátio da igreja de São Francisco Xavier encerra os procedimentos de verificação das altitudes ortométricas e de



aquisição de dados para cálculo da Ondulação do Geóide nas proximidades de cada RN do IBGE e também suas reambulações.

### 3.5.3 Reambulações e Verificações Ortométricas do Sistema LiDAR

A tecnologia LiDAR baseia-se nas propriedades da luz, principalmente nas informações obtidas por sua reflexão, definido distâncias e outras características dos objetos. A sigla deriva do termo inglês *Light Detection And Ranging*. Esta tecnologia foi usada sobre Niterói, gerando informações geodésicas em malha densa por toda a área do município.

Nas proximidades dos três RN ocupados, foram levantados pontos ortométricos para reambulação e comparação com a informação levantada em voo. Os três pontos próximos ao RN 3000F, se nomearam como LiDAR3000F1, F2 e F3. Na área do RN 3000M os dois pontos levantados se nomearam LiDAR3000M1 e M2 e perto da Igreja de São Francisco Xavier, mais dois outros pontos ditos LiDAR10009E1, e E2. A escolha dos pontos procurou atender a dois critérios; que a superfície estudada existisse por época do levantamento LiDAR e que fosse a mais plana possível. A Figura 67 mostra as cotas LiDAR que devem ser cotejadas com as altitudes ortométricas da laje do Tibau. A reambulação e verificação da informação LiDAR encerra a parte metodológica e de aquisição de dados no campo para este trabalho.

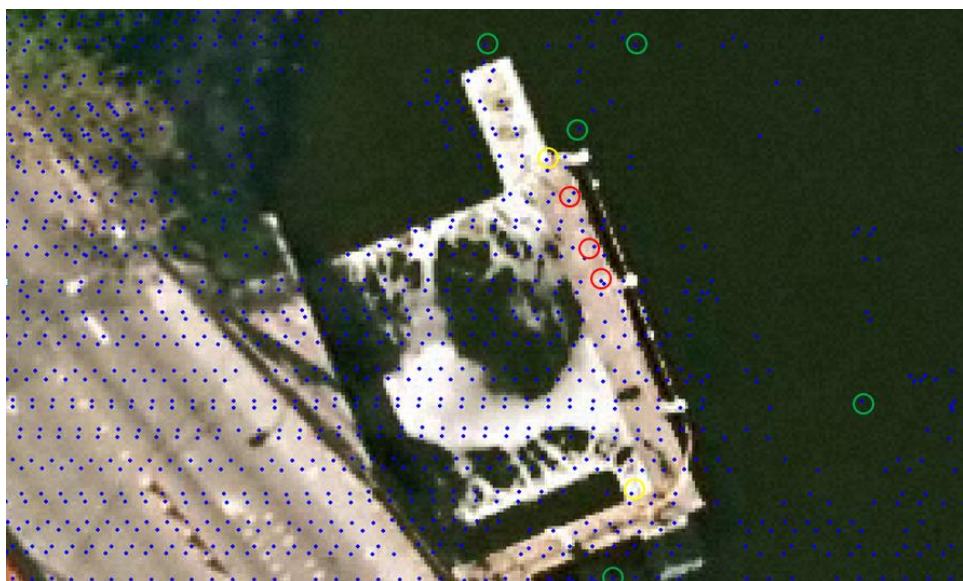


Figura 67 Foto aérea LIDAR onde cada ponto azul é uma informação de altitude.

### 3.5.4 Processamento dos Nivelamentos Elipsoidais

Os nivelamentos com emprego de equipamento GNSS objetivaram determinar as ondulações geoidais nos pontos estudados.

Realizados com estações DGPS Rover sobre os pontos listados abaixo.

| Elipsoidal 3000F |                   |                  |                     |
|------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Data             | Inicio            | Termino          | Tempo decorrido     |
| 06/07/2017       | 12h14min15sec     | 11h28min25sec    | 14min10sec          |
| Identificação    | Latitude          | Longitude        | Prec. das leituras  |
| Elip3000F        | 22°56'57.09703"S  | 43°05'20.74179"O | +/- 0,004 - 0,003 m |
|                  | Altura elipsoidal | Ondulação        | Precisão da altura  |
|                  | 1,997 m           | 0,000            | +/- 0,011 m         |

| RN 3000M Torre telefonia da Oi |                   |                  |                     |
|--------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Data                           | Inicio            | Termino          | Tempo decorrido     |
| 06/07/2017                     | 14h17min45sec     | 14h36min35sec    | 18min50sec          |
| Identificação                  | Latitude          | Longitude        | Prec. das leituras  |
| RN 3000M                       | 22°56'53.65407"S  | 43°01'50.38378"O | +/- 0,004 - 0,004 m |
|                                | Altura elipsoidal | Ondulação        | Precisão da altura  |
|                                | 3,656 m           | 0,000            | +/- 0,008 m         |

| Elipsoidal 3000M |                   |                  |                     |
|------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Data             | Inicio            | Termino          | Tempo decorrido     |
| 06/07/2017       | 14h39min55sec     | 14h55min05sec    | 15min10sec          |
| Identificação    | Latitude          | Longitude        | Prec. das leituras  |
| Elip3000M        | 22°56'53.63815"S  | 43°01'49.86448"O | +/- 0,003 - 0,004 m |
|                  | Altura elipsoidal | Ondulação        | Precisão da altura  |
|                  | 3,571m            | 0,000            | +/- 0,009m          |

| Elipsoidal 1009E |                   |                   |                     |
|------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Data             | Início            | Termino           | Tempo decorrido     |
| 06/07/2017       | 15h30min25sec     | 14h46min55sec     | 16min30sec          |
| Identificação    | Latitude          | Longitude         | Prec. das leituras  |
| Elip1009F        | 22°55'19.04227" S | 43°05'40.23120" O | +/- 0,007 - 0,007 m |
|                  | Altura elipsoidal | Ondulação         | Precisão da altura  |
|                  | 16,346 m          | 0,000             | +/- 0,015m          |

### 3.5.5 Ondulações do Geóide

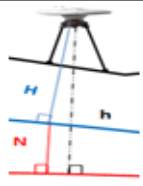
Objetivando determinar a ondulação do Geóide nas proximidades dos três RN ocupados durante os trabalhos de campo, foram nivelados Ortométricamente os pontos identificados como:

Elipsoide-3000F (Tabela 5), sobre o centro de um tampão metálico em frente ao portão do late Clube de Piratininga (CLIN);

Elipsoide-3000M (Tabela 6), sobre extremidade charneira esquerda de boca de lobo a NE da torre de telefonia da Oi em Itaipu;

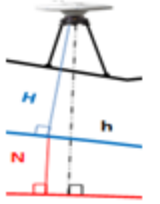
Elipsoide-1009E (Tabela 8), sobre a extremidade esquerda (SUL) do primeiro degrau do pátio com piso de tijolos, em frente ao portal da igreja de São Francisco Xavier.

**Tabela 5 ONDULAÇÃO DO GEOIDE NO PONTO ELIPSOIDAL-3000F**

| NIVELAMENTO ORTOMÉTRICO   |                               |                   |                                    |            |                      |
|---|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------|----------------------|
| Determinação da altitude ortométrica $H$ do ponto Elipsoidal-3000F                |                               |                   |                                    |            |                      |
|  | Orientação                    | Distância (m)     | Altitude da Estação (m)            | $\Delta V$ | Altitude ortométrica |
| Elipsoidal-3000F  | 120,5362°                     | 24,395            | 1,3954                             | 0,559      | $H = 1,954$ m        |
| AQUISIÇÃO DE DADOS E NIVELAMENTO ELIPSOIDAL                                       |                               |                   |                                    |            |                      |
| Data  | Início                        | Termino           | Tempo decorrido                    |            |                      |
| 06/07/2017  | 12h14min15sec                 | 11h28min25sec     | 14min10sec                         |            |                      |
| Precisão da altura  | Latitude                      | Longitude         | Precisão das leituras de posição   |            |                      |
| +/- 0,011 m   | 22°56'57.09703"S              | 43°05'20.74179" O | +/- 0,004 - 0,003 m                |            |                      |
| Altitude elipsoidal<br>$h =$  | Altitude ortométrica<br>$H =$ |                   | Ondulação do Geóide<br>$N = h - H$ |            |                      |
| 1,997 m   | 1,954 m                       |                   | 0,043 m                            |            |                      |

Anteriormente ao nivelamento ortométrico, foi executado o nivelamento elipsoidal pós-processado estático com emprego de equipamento DGPS estacionado sobre cada um daqueles pontos. A comparação das leituras determina a distância entre o marco zero ortométrico do IBGE (NMM-Imbituba) e o elipsoide naquele ponto estudado. O sinal indica a posição relativa do NMM Imbituba em relação ao elipsoide naquele ponto.

**Tabela 6 FLUTUAÇÃO DO GEOIDE NO PONTO ELIPSOIDAL-3000M**

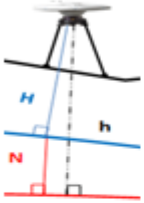
| NIVELAMENTO ORTOMÉTRICO   |                               |                  |                                    |            |                      |
|---|-------------------------------|------------------|------------------------------------|------------|----------------------|
| Determinação da altitude ortométrica $H$ do ponto Elipsoidal-3000M                |                               |                  |                                    |            |                      |
|  | Orientação                    | Distância (m)    | Altitude da Estação (m)            | $\Delta V$ | Altitude ortométrica |
| Elipsoidal-3000M  | 391,3357°                     | 15,248           | 3,7018                             | -0,099     | $H = 3,6028$ m       |
| AQUISIÇÃO DE DADOS E NIVELAMENTO ELIPSOIDAL                                       |                               |                  |                                    |            |                      |
| Data  | Início                        | Termino          | Tempo decorrido                    |            |                      |
| 06/07/2017  | 12h14min15sec                 | 11h28min25sec    | 14min10sec                         |            |                      |
| Precisão da altura  | Latitude                      | Longitude        | Precisão das leituras de posição   |            |                      |
| +/- 0,009 m   | 22°56'53.63815"S              | 43°01'49.86448"O | +/- 0,003 - 0,004 m                |            |                      |
| Altitude elipsoidal<br>$h =$  | Altitude ortométrica<br>$H =$ |                  | Ondulação do Geóide<br>$N = h - H$ |            |                      |
| 3,5710 m  | 3,6028 m                      |                  | - 0,0318 m                         |            |                      |

A Tabela 7 mede diretamente a ondulação do Geóide pela leitura DGPS diretamente sobre o RN 3000M, na base da torre de telefonia da Oi. A leitura elipsoidal foi realizada como suporte, mas foi considerada a possível interferência da torre e sua proximidade na qualidade da constelação mais ao norte da posição.

**Tabela 7 FLUTUAÇÃO DO GEOIDE MEDIDA SOBRE O RN-3000M**

|                              |   |                                    |
|------------------------------|---|------------------------------------|
| Altitude elipsoidal<br>$h =$ | Altitude ortométrica<br>$H = \text{RN}$ | Ondulação do Geóide<br>$N = h - H$ |
| 3,6560 m                     | 3,6668 m                                | - 0,0108 m                         |

**Tabela 8 FLUTUAÇÃO DO GEOIDE NO PONTO ELIPSOIDAL-1009E**

| FLUTUAÇÃO DO GEOIDE NO PONTO ELIPSOIDAL-1009E                                     |                               |                                    |                                  |            |                      |
|---|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|------------|----------------------|
| NIVELAMENTO ORTOMÉTRICO   |                               |                                    |                                  |            |                      |
| Determinação da altitude ortométrica $H$ do ponto Elipsoidal-1009E                |                               |                                    |                                  |            |                      |
|  | Orientação                    | Distância (m)                      | Altitude da Estação (m)          | $\Delta V$ | Altitude ortométrica |
| Elipsoidal-1009E  | 66,8502°                      | 9,444                              | 16,5154                          | -0,099     | $H=16,3684$ m        |
| AQUISIÇÃO DE DADOS E NIVELAMENTO ELIPSOIDAL                                       |                               |                                    |                                  |            |                      |
| Data  | Início                        | Termino                            | Tempo decorrido                  |            |                      |
| 06/07/2017  | 12h14min15sec                 | 11h28min25sec                      | 14min10sec                       |            |                      |
| Precisão da altura  | Latitude                      | Longitude                          | Precisão das leituras de posição |            |                      |
| +/- 0,009 m   | 22°56'53.63815"S              | 43°01'49.86448"O                   | +/- 0,003 - 0,004 m              |            |                      |
| Altitude elipsoidal<br>$h =$  | Altitude ortométrica<br>$H =$ | Ondulação do Geóide<br>$N = h - H$ |                                  |            |                      |
| 16,3460 m   | 16,3684 m                     | - 0,0224 m                         |                                  |            |                      |

A ondulação média do Geóide calculada entre os RN 3000F, 3000M e 10009E é de -0,0055 m ou mais exatamente 5,5 mm

### 3.5.6 Variação da Altitude LiDAR em Relação À Ortometria

O ponto LiDAR3000F1 foi medido no eixo da rua, distando 30,77 m da estação; o ponto LiDAR3000F2 foi medido sobre a laje do piso a esquerda de quem vai ao portão do late Clube de Piratininga (CLIN), a 17,25 m da estação e o ponto LiDAR3000F3 foi posicionado ao fundo, a 34,229 m da estação. A Figura 68 mostra as 3 medições realizadas.





Figura 68 Altitudes LIDAR fornecida por Ricardo M. S. Braz.

Na região do late Clube de Piratininga (CLIN) as altitudes LiDAR estão em média 9,51 cm abaixo das altitudes ortométricas. O ponto LiDAR3000M1 foi medido sobre a calçada contígua à torre de telefonia da Oi enquanto que o LIDAR3000M2 foi adquirido do outro lado da estrada, na calçada do restaurante Carmine. A Figura 69 mostra as 3 medições realizadas.



Figura 69 Imagem com altitudes LiDAR fornecida por Ricardo M. S. Braz.



Na região da torre de telefonia da Oi as altitudes LiDAR estão em média 7,32 cm acima das altitudes ortométricas.

O ponto LiDAR10009E1 foi medido sobre o piso junto a árvore que fica no plano inferior em frente a igreja de São Francisco Xavier; o ponto LiDAR1009E2 foi medido sobre a área plana, coberta de saibro na face Sudeste da igreja. A Figura 70 mostra as 3 medições realizadas.



Figura 70 Imagem com altitudes LiDAR fornecida por Ricardo M. S. Braz.

No entorno da igreja de São Francisco Xavier, as altitudes LiDAR estão em média 2,64 cm abaixo das altitudes ortométricas. As médias das altitudes LiDAR estão 1,61 cm abaixo das altitudes ortométricas correspondentes.

O estabelecimento das correções das leituras LiDAR possibilita trazer esta importante base de dados para o referencial ortométrico, possibilitando gerar planos ortométricos que reproduzam antigos níveis de cheia das lagoas de Piratininga e Itaipu.

### 3.5.7 Nivelamento do Fundo da Lagoa de Piratininga

O nivelamento ortométrico do fundo da lagoa de Piratininga em dois pontos centrais indicou altitude de -70,10 cm para o Pr1 e - 55,40 cm para o Pr2.

| Nivelamento do fundo da lagoa |                   |                  |                    |
|-------------------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| Data                          | Inicio            | Termino          | Tempo decorrido    |
| 06/07/2017                    | 10h07min45sec     | 10h33min15sec    | 25min30sec         |
| Identificação                 | Latitude          | Longitude        | Prec. das leituras |
| Pr1                           | 22°56'50.54744"S  | 43°04'37.65737"O | +/- 0,004 – 0,004m |
|                               | Altura elipsoidal | Ondulação        | Precisão da altura |
|                               | - 0,701 m         | 0,000            | +/- 0,009 m        |

| Nivelamento do fundo da lagoa |                   |                  |                    |
|-------------------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| Data                          | Inicio            | Termino          | Tempo decorrido    |
| 06/07/2017                    | 11h03min55sec     | 11h17min05sec    | 13min10sec         |
| Identificação                 | Latitude          | Longitude        | Prec. das leituras |
| Pr2                           | 22°56'35.59074"S  | 43°04'48.14663"O | +/- 0,006 – 0,006m |
|                               | Altura elipsoidal | Ondulação        | Precisão da altura |
|                               | - 0,554m          | 0,000            | +/- 0,014 m        |

### 3.6 Relação das Referências de Nível

Os nivelamentos devem ser analisados segundo seus objetivos. O primeiro deles refere-se à compreensão das altitudes ortométricas do sangradouro da lagoa de Piratininga em relação ao Nível do Mar na região do Rio de Janeiro segundo o DHN. Para tanto é necessário estabelecer a correlação entre o zero altimétrico do IBGE (Imbituba) e as RN da DHN que guardam as informações relativas aos níveis do mar que interessam. Para tanto se analisou a documentação da estação Maregráfica da Ilha Fiscal, disponibilizada pelo DHN e a RN do IBGE no perímetro da ilha.

O Relatório de Estação Geodésica 2953H do IBGE (Figura 71), situado na área da ilha Fiscal informa a altitude ortométrica de 2,5724 m. O modelo F-

41-Padrão-Ilha Figura 72 e Figura 73 Fiscal-50140-Versão 1/2010, atualizado em 2013, em sua seção “Descrição das referências de nível” lista todos os RN dentro do perímetro da ilha, dentre os quais o 2953H do IBGE e o RN2 DHN. A página 2 do mesmo modelo do DHN mostra a relação das altitudes entre os diversos RN, possibilitando relacioná-los com o Datum altimétrico brasileiro do IBGE, e estabelecer finalmente a altitude ortométrica do nível do mar (NM) segundo a DHN.



## Relatório de Estação Geodésica

|                       |                |                                   |       |
|-----------------------|----------------|-----------------------------------|-------|
| <i>Estação :</i>      | 2953H          | <i>Nome da Estação :</i>          | 2953H |
| <i>Município :</i>    | RIO DE JANEIRO |                                   |       |
| <i>Última Visita:</i> | 18/07/2016     | <i>Situação Marco Principal :</i> | Bom   |

| DADOS PLANIMÉTRICOS       |                  | DADOS ALTIMÉTRICOS             |                        |
|---------------------------|------------------|--------------------------------|------------------------|
| <i>Latitude</i>           | 22 ° 53 ' 48 " S | <i>Altitude Ortométrica(m)</i> | 2,5724                 |
| <i>Longitude</i>          | 43 ° 09 ' 57 "W  | <i>Fonte</i>                   | Nivelamento Geométrico |
| <i>Fonte</i>              | GPS Navegação    | <i>Sigma Altitude(m)</i>       | (#)                    |
| <i>Origem</i>             |                  | <i>Datum</i>                   | Imbituba               |
| <i>Datum</i>              | SIRGAS2000       | <i>Data Medição</i>            | 08/12/1992             |
| <i>Data Medição</i>       | 18/07/2016       | <i>Data Cálculo</i>            | 15/06/2011             |
| <i>Data Cálculo</i>       |                  |                                |                        |
| <i>Sigma Latitude(m)</i>  |                  |                                |                        |
| <i>Sigma Longitude(m)</i> |                  |                                |                        |
| <i>UTM(N)</i>             | 7.466.747        |                                |                        |
| <i>UTM(E)</i>             | 688.134          |                                |                        |
| <i>MC</i>                 | -45              |                                |                        |

Figura 71 Dados altimétricos do RN do IBGE dentro da DHN.


|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
|    | 50 140   | <b>TÁBUAS DAS MARÉS</b>  | F - 41 - Padrão - Ilha Fiscal - 50140 - Versão 1/2010 |
|   | F-41   | <b>DESCRIÇÃO DE ESTAÇÃO MAREGRÁFICA</b>  | F - 41 - 1515 - 001/05                                |
| Estação Ilha Fiscal   | Estado RJ  | Localidade Ilha Fiscal   |   |
| LH  | Carta N°. 1515 – Baía de Guanabara - Ilha do Mocanguê e Proximidades   | Navio CHM-31   | Ano 2005  |
| Coordenadas geográficas<br>Lat 22° 53' 48,07" S<br>Long 043° 09' 57,55" W<br>Datum<br>Fuso +3   | O nível de redução está <u>152,5</u> centímetros acima do zero da régua de 2003/2005.<br>Fonte de informação: Análise estatística e harmônica de 731 dias de observação da maré.<br>Tipo de marégrafo: Hidrologia Diário Esc. 1:20<br>Zero do marégrafo: Coincide com o zero da régua.   |  |   |
| Descrição das réguas de marés<br>Composta de 5 réguas de alumínio HIDROMECC, com seções de 1 metro e comprimento total de 5 metros, fixada ao lado do acesso ao abrigo do marégrafo.<br>Esta ficha foi compilada do Modelo DHN-5503-4/1946 e das F-41-1512-001/99, F-41-1512-001/05 e F-41-1515-001/10. Atualizada em 10/09/2013. | Descrição das referências de nível<br>RN1-DHN – Marco de metal encaixado na parede interna do torreão, acima da RN2-DHN. Implantada em 1946.<br>RN2-DHN – Marco de metal, encaixado no chão, abaixo da RN1-DHN. Implantada em 1946.<br>RN3-DHN – Situada no batente da calçada do prédio principal, aproximadamente, 20m a oeste da estação maregráfica. Implantada em 2003.<br>RN-IBGE-2953H – Marco de metal circular, com a inscrição 2953H, ao lado esquerdo da escada de acesso à faxinaria e aproximadamente, a 10m da estação maregráfica. Citada a partir de 1999.<br>RN-IBGE-93517 SAT – Marco de metal circular, com a inscrição 93517 SAT, do lado esquerdo do pilar de observação magnetométrica a aproximadamente 1 m deste. Citada a partir de 2004.<br>RN-PILAR – Marco de metal, encaixado no topo de um pilar de observação magnetométrica, situado à esquerda da entrada, a cerca de 3,0m da estação maregráfica. Citada a partir de 1999. |  |   |
| DHN-6016-A  | Arquivo Técnico a ser preenchido no CHM<br>Recebida em:<br>Documento de referência: RA-059/04  | Pessoal que tomou parte na montagem<br>Equipe de 2005:<br>Engenheiro Sandro Paixão<br>Geógrafo Denes (IEAP)<br>SG-HN Ribeiro, SG-HN Jesus<br>Chefe da equipe: SO-HN (Ref.) Cardoso<br>Equipe de 2010:<br>SG-HN Monteiro Lima<br>SC-FEMAR – Neide Araújo<br>Chefe da equipe: SO HN (Ref.) Cardoso |   |

Figura 72 Documentação dos RN para cálculo das altitudes desejadas

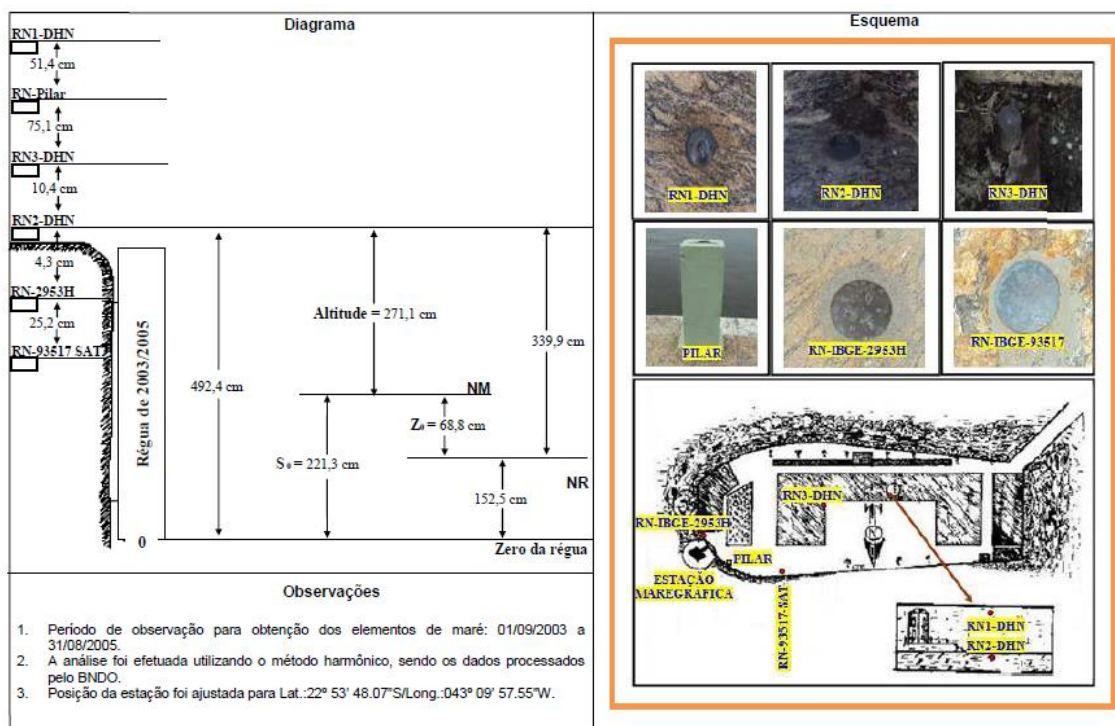


Figura 73 Relação entre as RN da DHN, do IBGE e do Nível do Mar.

Segundo a descrição, a RN 2953H está 4,3 cm abaixo da RN2 DHN e esta dista 271,1 cm do NM (RJ). Isto quer dizer que o NM RJ está a  $257,24 + 4,3 - 271,1 = 9,56$  cm abaixo do Datum de Imbituba.

De posse desta informação pode-se determinar a posição relativa do NM RJ junto às comportas e ao sangradouro da lagoa de Piratininga, cuja altitude de sua laje externa foi determinada pelo nivelamento direto, irradiado desde o RN 3000F do IBGE. Os resultados estão tabelados como se segue:

**Tabela 9**

| ORTOMETRIA   |                              |               |                           |            |                         |
|--|------------------------------|---------------|---------------------------|------------|-------------------------|
| Medições à partir do RN 3000F do IBGE, com altitude ortométrica 1,9444 m |                              |               |                           |            |                         |
| Determinação da altitude ortométrica da Estação CLIN na área do RN 3000F |                              |               |                           |            |                         |
| Identificação  | Orientação                   | Distância (m) | Altura "v" da estação (m) | $\Delta V$ | Altitude da estação (m) |
| Estação CLIN   | 121,7859°                    | 16,371        | 1,682                     | 0,549      | 1,3954                  |
| Pontos nivelados em relação ao RN 3000F IBGE                             |                              |               |                           |            |                         |
| Identificação  | Orientação                   | Distância (m) | Altitude da Estação (m)   | $\Delta V$ | Altitude ortométrica    |
| Laje do Tibau1   | 250,4438°                    | 822,230       | 1,3954                    | 0,219      | 1,6144                  |
| Laje do Tibau2   | 250,5680°                    | 822,477       |                           | 0,189      | 1,5844                  |
| Laje do Tibau3   | 250,3661°                    | 822,630       |                           | 0,164      | 1,5594                  |
| Média das altitudes ortométricas da Laje do Túnel do Tibau               |                              |               |                           |            |                         |
| Laje do Tibau  | -                            | -             | 1,3954                    | 0,191      | +1,5864                 |
| Altitude ortométrica do sangradouro da Lagoa de Piratininga              |                              |               |                           |            |                         |
| Laje do Tibau  | Diferença para o sangradouro |               |                           |            | Sangradouro             |
| 1,5864   | 1,50                         |               |                           |            | +0,0864                 |
| Altitude ortométrica do Nível Médio do Mar na área do Rio de Janeiro     |                              |               |                           |            |                         |
| 2953H IBGE   | RN2 DHN                      | $\Delta N$    | RN2 DHN-IBGE+ $\Delta N$  |            | - 0,0956                |
| 2,5724   | 2,711                        | 0,043         | 2,6154                    |            |                         |
| Altitude ortométrica do Nível de Redução (NR) na área do Rio de Janeiro. |                              |               |                           |            |                         |
| NMM RJ   |                              | $Z_0$         |                           |            | -0,7836                 |
| - 0,0956   |                              | - 0,6880      |                           |            |                         |

Os dados obtidos quando referidos ao RN2 DHN, ao RN 2953H e ambientados no sangradouro do Tibau indicam as altitudes como no desenho da Figura 74.

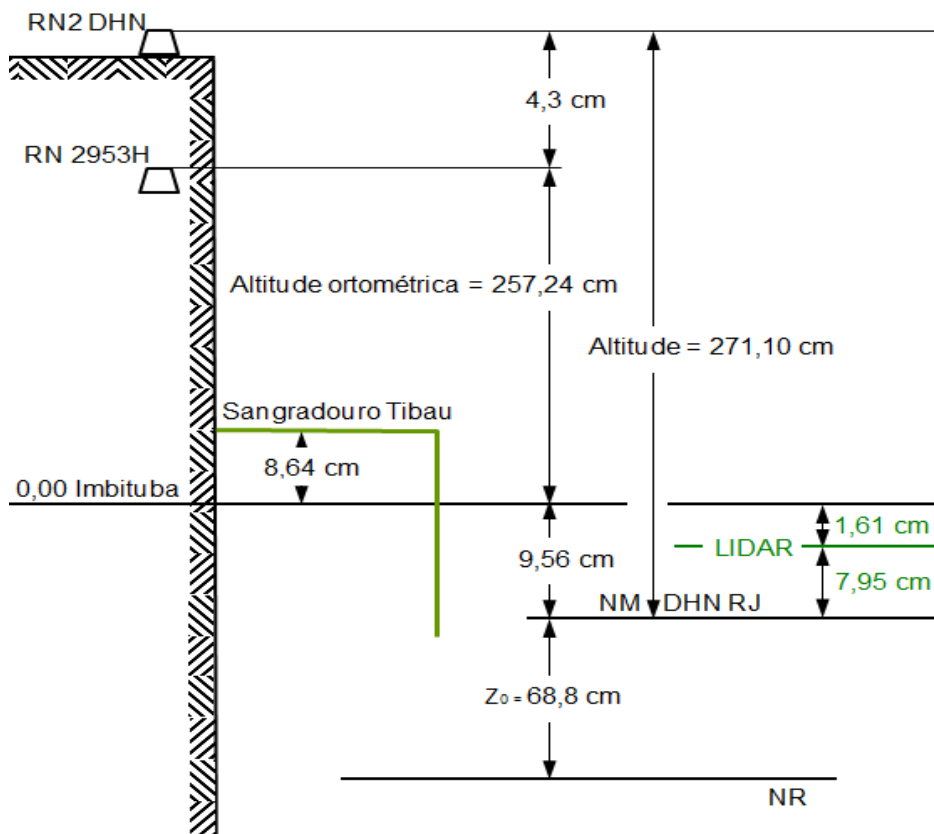


Figura 74 Correlação entre o RN 2953H IBGE, RN2 DHN, NMM e “0” Imbituba.

### 3.6.1 Níveis Notáveis Relativos ao Sangradouro do Tibau

A Figura 75 reproduz a posição relativa do “0” de Imbituba (NMM) e do Nível do Mar DHN, Ilha Fiscal, em relação a face superior do sangradouro. Compara os resultados do nivelamento ortométrico com duas outras levantadas pela ENGEVIX e pela Projconsult.

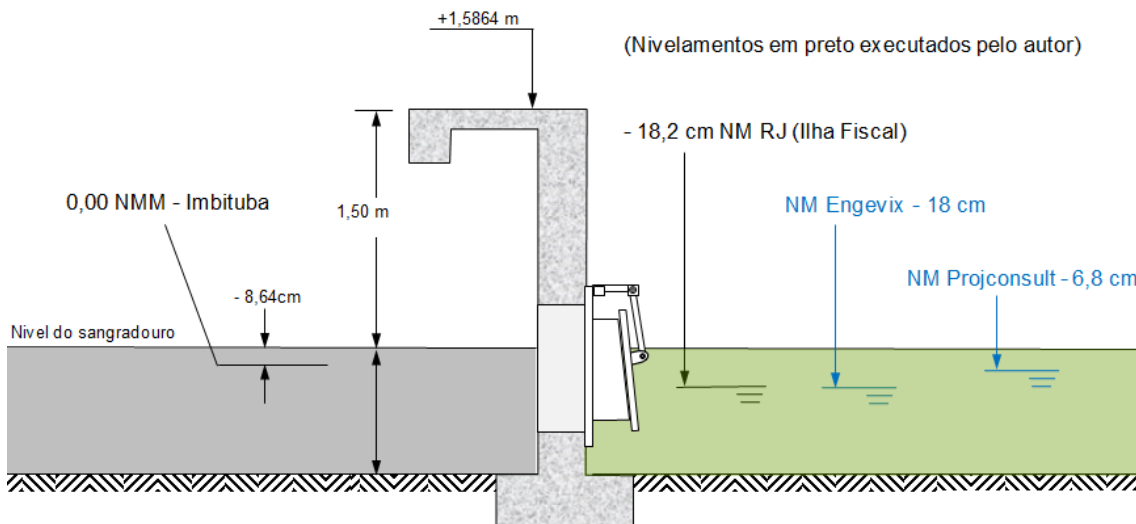
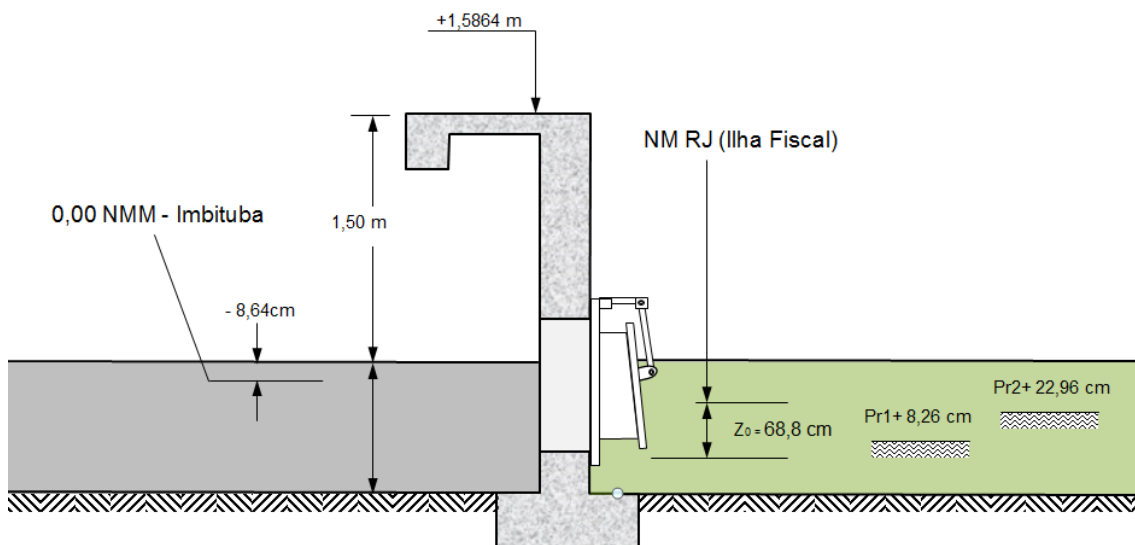


Figura 75 O NMM e o NM em relação ao nível do sangradouro.

Na Figura 76 estão representados o Nível de Redução (NR), 68,8 cm abaixo do Nível do Mar, e as posições dos pontos nivelados no fundo da lagoa, em relação ao NR.



**Figura 76** Altitude do fundo da lagoa em relação ao nível de redução  $Z_0$ .

Como se pode notar o primeiro ponto (Pr1), feitos os cálculos, encontra-se 8,26 cm acima do NR, enquanto o segundo (Pr2) está 22,96 cm acima do NR.

Estas posições relativas mostram que tanto o Pr1 quanto o Pr2 estão acima do nível da mais baixa maré de sizígia. O significado desta constatação é que o fundo da lagoa está em sua maior parte acima do nível da maré mais baixa, o que quer dizer que em se abrindo as comportas de fundo em uma baixa-mar de sizígia a lagoa secará.



## 4 Discussão dos Resultados

Esta pesquisa em seu desenvolvimento cruzou por várias áreas do conhecimento que não apenas as geociências, por força da sua concepção. A investigação sobre as origens do Sistema lagunar Itaipú-Piratininga, sobre quais bases físicas este estaria assentado, recuou onde a investigação estratigráfica e bioestratigráfica disponível poderiam levar na busca de argumentos e evidências que suportassem a argumentação. E a análise de datações de horizontes milenares chamou a atenção para a diferença dos ambientes ancestrais para a realidade de duas lagoas impactadas pela presença humana.

O estudo de autores que publicaram trabalhos sobre o sistema lagunar Itaipú Piratininga versando sobre diferentes áreas do conhecimento e suportado pela aquisição de dados presentes, possibilitou concluir sobre questões sistêmicas e recorrentes que assolam as lagoas as quais têm passado por mudanças constantes. A participação nas reuniões do Subcomitê da Região Hidrográfica do Sistema Lagunar Itaipú/Piratininga (CLIP) de 2015 em diante tornaram possível descortinar os múltiplos interesses envolvidos em um potencial gerenciamento das lagoas e entornos.

A presente discussão dos resultados busca avançar no conhecimento sobre a formação geológica do sistema lagunar Itaipu Piratininga; entender através dos dados levantados a atual dinâmica dos fundos destas lagoas e eventuais processos de assoreamento em curso; assim como definir quais áreas do entorno das lagoas seriam inundadas pelos níveis normais observados por Oliveira na década de 40, estendendo planos que reproduzam os níveis de 1,30 m e 1,60 m acima do NM, procedendo à redução destes níveis ao zero ortométrico ou NMM Imbituba, bem como ajustando a base de dados LiDAR à rede altimétrica do IBGE ocupada durante os trabalhos; concluir sobre a percepção da população local sobre o assoreamento das lagoas; Comentar sobre a interação dos resultados e seus desdobramentos.

1- Os processos holocênicos morfodinâmicos que deram origem as lagoas de Itaipú e Piratininga estão ligados à transgressão marinha após último

período Glacial, onde o nível médio relativo (MRL) do mar oscilou como se segue: Há 7000 anos antes do presente (BP) o nível médio do mar estava a - 1 m (Ilha Fiscal DHN). De 7000 anos BP até 5200 anos BP o nível relativo do mar subiu até atingir +1,8 m acima do nível atual. A transgressão holocênica atingiu seu auge de + 3,0 a cerca de 4000 anos BP. Desde então o nível do mar recuou gradativamente até a situação atual. Durante o processo de transgressão as atuais barreiras arenosas foram criadas há cerca de 2300 anos BP.

Os testemunhos retirados da lagoa de Itaipu por Ireland em 1988 mostram sequências estratigráficas características de ambientes pouco energéticos. O nível de turfa pleistocênica encontrada por Barth et al em 2013 corrobora as pesquisas de Ireland e mostra pela análise palinológica da amostra que a lagoa ainda não fora criada, e que um ambiente úmido característico possibilitava a existência de uma Floresta úmida pluvial na área. O testemunho de Ireland foi nivelado ortométricamente de modo que as sequências estratigráficas estão definidas a partir do zero de Imbituba.

O testemunho T2 coletado pelo autor em 2017 o foi sobre o mesmo ponto que o testemunho T2 coletado por (RESENDE, 1995). Para caracterizá-los eliminando ambiguidades, passaremos a chama-los T2-1995 e T2-2017. Ambos os testemunhos foram extraídos da parte central da lagoa de Piratininga. O testemunho do autor alcançou, entretanto 1,60 m abaixo do fundo da lagoa enquanto que o de (RESENDE, 1995) restringiu-se aos primeiros 73 cm abaixo do fundo da lagoa.

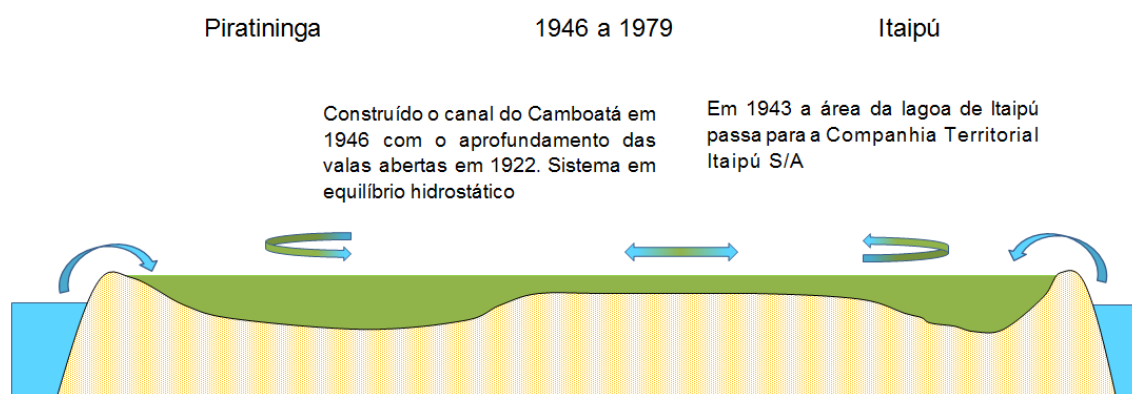
A análise da sequência estratigráfica é semelhante, mas a medida que o T2-2017 se aprofunda foi constatada uma quantidade crescente de areia. No primeiro horizonte que vai do fundo da lagoa até -0,48 m a areia representam 32% do total, sendo o resto da amostra composta por silte, argila, gastrópodes e materiais vegetais, notadamente sementes de carófitas. Os gastrópodes analisados caracterizaram um ambiente sem vida e sua dispersão por toda a coluna chamou a atenção para uma possível perturbação intensa do espelho d'água. As sementes de carófitas estavam quebradas ou sem capacidade de germinação.

A proporção de areia em relação a fração de silte e argila passa a ser majoritária a partir do nível de -0,57 m e continua aumentando até o horizonte de -1,45 m, onde foi registrada aparente discordância quando da extração. Ensaio de laboratório mostraram que existe realmente uma mudança brusca na relação do silte e da argila com as areias. De -1,45 m até -1,60 m a areia passa a predominar atingindo 86% da amostra.

O nivelamento ortométrico do ponto Pr1 foi realizado exatamente nas coordenadas do T2-2017. Então T2-2017, o fundo da lagoa foi definindo como estando a - 0,70 m relativo ao zero de Imbituba. Isto quer dizer que a parte inferior do T2-2017 foi extraída a - 2,30 m altitude ortométrica.

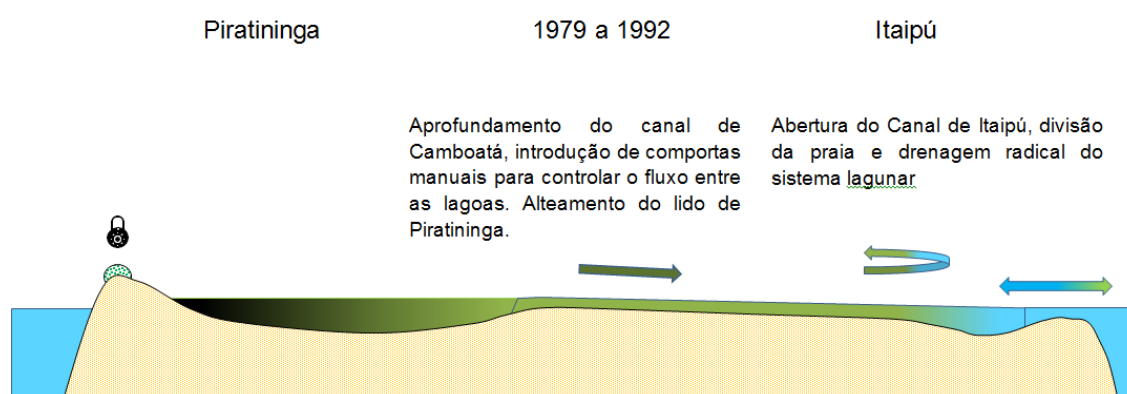
2- A discussão dos resultados quanto às condições batimétricas exige contextualização em função das muitas e profundas alterações ocorridas no sistema lagunar Itaipú Piratininga nos últimos 70 anos. Do início do século XX até o presente o sistema lagunar de Itaipú Piratininga sofreu importantes intervenções como descrito no quadro 4. A partir das datas de cada interferência será feita análise das suas consequências imediatas no âmbito das geociências, e através da análise dos novos cenários decorrentes de cada mudança até o tempo presente.

- O primeiro período pode ser chamado de Laguna distrófica, de restinga, de estagnação mesohalina, classificação única e primeira da lagoa de Piratininga feita por (OLIVEIRA, 1948) que vai de 1946 a 1979. Neste intervalo de tempo a capacidade de acumulação de água pela lagoa é apresentada na Figura 77, pelas amplitudes das variações do nível da lagoa. Para efeitos de comparação e projeções a informação de OLIVEIRA foi passada para o referencial ortométrico de Imbituba. O ano de 1946 marca o aprofundamento das valas que ligavam as lagoas de Piratininga e Itaipu e a criação do canal do Camboatá, gerando condições de equilíbrio hidrostático entre as duas lagoas.



**Figura 77 1946 a 1979 – Lagoa distrófica de restinga de estagnação mesohalina.**

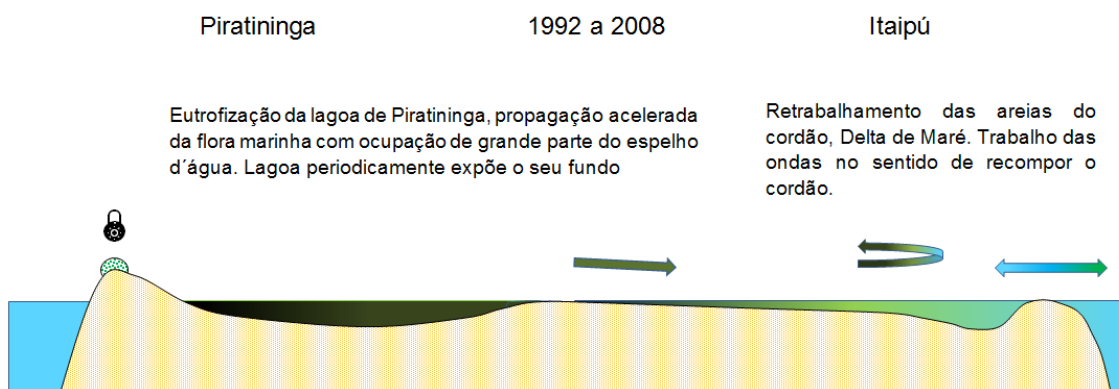
- O segundo período está compreendido entre a construção do canal ligando a lagoa de Itaipú com o mar em 1979 e a construção das comportas do canal de Camboatá em 1992 (Figura 78). O canal causou grande alteração tanto na lagoa de Itaipú como na de Piratininga. A lagoa de Itaipú, por sua nova condição de ligação permanente com o mar virou lagoa salgada oligohalina. A lagoa de Piratininga cujo fundo está em grande parte acima do nível de redução passou a ser drenada, permanentemente esgotada, perdendo a capacidade de reter volume permanente d'água. Por falta de volume o lido da lagoa de Piratininga não pode mais ser aberto.



**Figura 78 Circulação 1979 a 1992 – Lagoa de Itaipú se torna salgada oligohalina.**

- O terceiro período está situado entre 1992 e 2008 época da construção do túnel no Tibau comunicando novamente a lagoa com o mar. A solução encontrada para resolver o problema da escassez hídrica da lagoa de Piratininga e o avanço da ocupação de suas áreas secas, foi a construção da comporta do canal do Camboatá (Figura 79). Antes disto a lagoa de Piratininga expunha com frequência grande parte de seu fundo, pois toda sua água era drenada para o mar através da lagoa de Itaipú. A lagoa de Itaipú por sua vez concentrava por

seu canal todo o escoamento das duas bacias hidrográficas. Com a construção das comportas a lagoa de Piratininga começou a acumular água, mas águas servidas com grande quantidade de nutrientes que causaram a proliferação das macrófitas existentes na lagoa desde os tempos de OLIVEIRA. Em 1999 a lagoa de Piratininga foi considerada a mais eutrofizada do Estado do Rio de Janeiro.

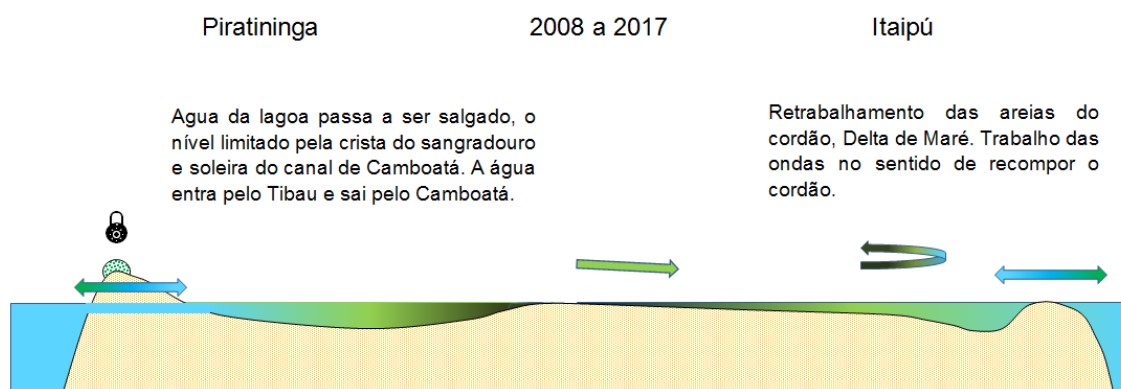


**Figura 79 Circulação 1992 a 2008 – Lagoa de Piratininga eutrofizada e com déficit hídrico.**

Em 2001 a SERLA contratou estudos para a construção de um túnel na rocha ligando a extremidade oeste da lagoa com o mar. O INEA contratou a obra que ficou pronta no decorrer de 2008. A lagoa de Piratininga desde então passou a ter nível mínimo fixo. O projeto de engenharia considerava comportas móveis de fundo e um vertedouro com coroamento abaixo da variação das preamares. As comportas de fundo aparentemente foram construídas fora das especificações de projeto e rapidamente perderam suas capacidades de abertura e conseqüentemente sua funcionalidade.

Mas isto não impediu o funcionamento passivo do conjunto túnel vertedouro. A cada maré cheia a lagoa de Piratininga continuou recebendo água do mar que escoava pelo canal de Camboatá, diluindo o esgoto em natura recebido pelas valas negras que chegam a Piratininga as quais no seu caminho são somadas aos efluentes tratados a 90%, vertidos pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) situada as margens do canal. A maré vazante por sua vez escoava majoritariamente pelo vertedouro do túnel do Tibau, reduzindo a vazão nos canais do Tibau e de Itaipú, e permitindo que as forças morfodinâmicas trabalhem para reconstruir o cordão litorâneo obstruindo o canal artificial construído em 1979.

O aporte diuturno de água do mar pelo túnel do Tibau desde sua abertura em 1978 tornou em salgada a água da lagoa de Piratininga, extinguindo as carófitas e alterando a ictiofauna residente.



**Figura 80 Circulação 2008 a 2017 – Lagoas salgadas oligahalinas sujeitas às marés.**

Os nivelamentos ortométricos da pesquisa apresentaram o fundo da lagoa de Piratininga situado acima do Nível de Redução da DHN o que significa dizer que a abertura das comportas de fundo no Tibau esgotará a lagoa, deixando em seu interior apenas as partes muito baixas ainda com alguma água. Como consequência qualquer batimetria da lagoa de Piratininga a partir de 2008 deve ser referida a face superior do sangradouro de Tibau, garantia de aporte permanente de água do mar e de que o nível da lagoa de Piratininga não fique abaixo dele.

3-A discussão sobre o assoreamento das lagoas de Itaipú e Piratininga passa pela percepção da população, manifestada e registrada pela imprensa em reportagens e fotografias para suportar esta afirmação. A Tabela 10 mostra dados de razões de sedimentação nas lagoas de Piratininga e Itaipú. (RESENDE, 1995) trata da taxa de deposição nos últimos cem para Piratininga enquanto (KNOPPERS; EKAU; FIGUEIREDO, 1999) trata do pico de sedimentação de biomassa de decomposição algal na mesma lagoa. (LAVENERE-WANDERLEY, 1999) determinaram taxa de sedimentação maior que o dobro da de Piratininga para a lagoa de Itaipú.



**Tabela 10 dados de razões de sedimentação nas lagoas de Piratininga e Itaipú.**

| Pesquisador    | Em   | Taxa (cm/ano) | Tempo decorrido (anos) | Acumulação (cm) |
|----------------|------|---------------|------------------------|-----------------|
| Resende        | 1995 | 0,13          | 22                     | 2,86            |
| Knoppers et al | 1999 | 0,80          | 18                     | 14,40           |
| Lav.-Wanderley | 1999 | 0,28          | 18                     | 5,04            |

Aplicando as taxas de sedimentação para cada cenário temos resultados acumulados de 2,86 cm para Piratininga e 5,04 para Itaipú. Comparando o testemunho T2-1995 extraído por RESENDE com o T2-2017 extraído pelo autor, a descrição é semelhante. Durante o nivelamento ortométrico do T2-2017 a medição da lâmina d'água no local expressou os mesmos valores de 22 anos atrás.

Em relação à biomassa algal chamada por OLIVEIRA de vasa, ele relata: "A vasa perde mais de 60% do peso quando incinerada, não tem animais bentônicos o que é lógico já que não podem prender-se num barro tão mole. Quando se anda por esta vasa atola-se até a cintura e há vários pontos perigosos devido aos "sumidouros" lugares constituídos de vasa pura, isto é, sem mistura alguma de areia, chegando às vezes o ser humano a ficar completamente atolado".

Quanto o assoreamento no "delta de maré" pode-se afirmar que parte expressiva do volume de areia que se espalha no canal, até a parte interna da lagoa é proveniente de areias pré-existentes indicadas no mapa sedimentológico de Muehe e Albuquerque.

Como dito anteriormente, o canal de Itaipú encontra-se em região de micro maré em costa dominada por ondas. A areia transportada para o corpo do canal o é por ação de marés meteorológicas associadas à ação das ondas e que buscam reestabelecer o cordão litorâneo.

O canal continua aberto por ação do escoamento da totalidade das águas da bacia da lagoa de Itaipú e de parte das águas da lagoa de Piratininga que drenam pelo canal de Camboatá. Além das águas citadas há outras que

atualmente são parte importante do escoamento do sistema lagunar. As águas transpostas de outras bacias e entregues a população para uso, são despejadas no sistema lagunar na forma de águas servidas com grau de pureza teórico de 90%. Na ausência de chuvas esta é, juntamente com os rios poluídos afluentes, a garantia de volume de escoamento para manter aberto o canal de Itaipú.

4- A verificação da precisão das leituras LiDAR em relação aos RN ortométricos do IBGE usados na região da pesquisa possibilitou a confecção de mapas reproduzindo as cotas de 1,30 m e 1,60 m acima do Nível do Mar citadas por OLIVEIRA, observadas na lagoa de Piratininga entre os anos de 1946 e 1948. As cotas foram convertidas ao zero de Imbituba para que pudessem ser comparadas a base de dados LiDAR, tornando-se altitudes 1,22 m e 1,52 m ortométricas.

Dois planos foram gerados e aplicados sobre o mosaico georeferenciado em X, Y, Z das ortofotos e dos valores altimétricos (LiDAR) do entorno das lagoas de Itaipú e Piratininga. A interseção dos planos de 1,22 m e 1,52 m delimita a região habitada que será atingida caso as lagoas atinjam novamente altitudes que eram normais antes da drenagem permanente do canal de Itaipú. Tanto na Figura 81 como na Figura 82, em vermelho é mostrada a interseção da cota de 1,22 m e em amarelo a relativa à 1,52 m (vide figuras 74 e 75, cortesia de Ricardo Braz). Não são cotas de enchentes excepcionais, apenas indicam a área úmida que foi ocupada indevidamente no entorno.

5- O Decreto 5300 de 7/12/2004 que conceitua as normas gerais visando a gestão ambiental da zona costeira do País estabelece a definição de linha de base em seu Art. 2º, inciso VI. A linha de base é o referencial costeiro a partir do qual são feitas todas as medições no sentido do mar ou da terra definindo limites marítimos e terrestres dentro dos quais leis do direito marítimo, ambientais, de uso do solo e outras específicas são aplicadas visando o perfeito Gerenciamento Costeiro. A linha de Base equivale ao Nível de Redução (NR) que gera as cartas náuticas e suas interfaces terrestres. O NR para área do sistema lagunar Itaipú Piratininga foi definido no curso deste trabalho e está registrado e referenciado ao NMM Imbituba e ao NM DHN.



Figura 81 Lagoa de Itaipú: Linha vermelha altitude de 1,22 m, amarela 1,52 m.

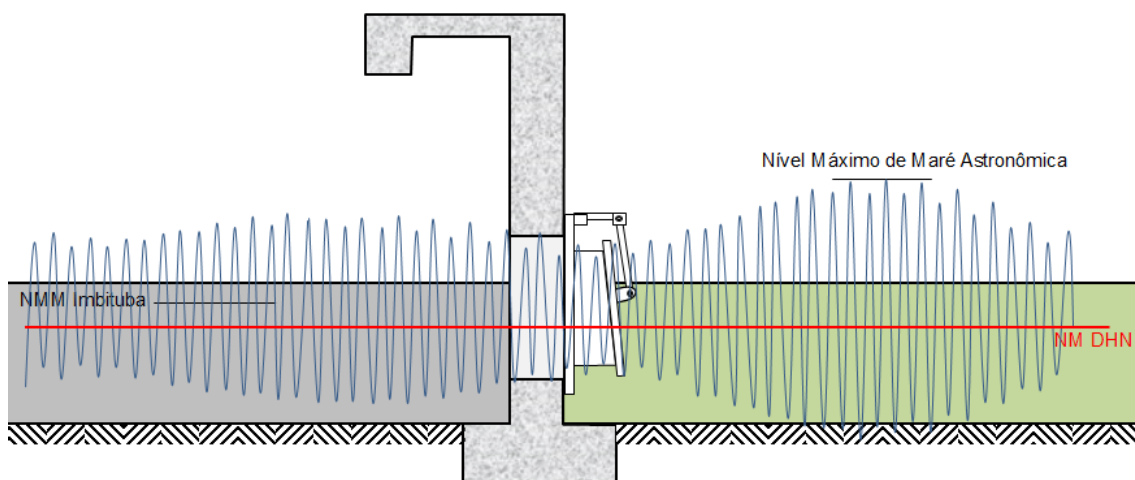




Figura 82 Lagoa de Piratininga: Linha vermelha altitude de 1,22 m, amarela 1,52 m acima.

6- A COPPE é reputado Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da UFRJ, tendo apresentado trabalho sobre as lagoas de Itaipu, Piratininga e o litoral contíguo a elas. Para efeitos de modelização o trabalho estuda três cenários para cada lagoa. Cenário 1 SA para caracterizar a Situação Atual de cada lagoa; o cenário SP1 que é a Situação Projetada segundo um conjunto de premissas 1 e finalmente o cenário SP2, que considera as premissas anteriores e altera a situação da crista da estrutura lateral. A Figura 83 ilustra como a água entra na lagoa de Piratininga.

Quatro anos mais tarde a Situação Atual sofreu alguma mudança posto que as comportas do Tibau não se abrem mais e a renovação das águas da lagoa de Piratininga é realizada compulsoriamente conforme o ciclo de marés, sem outras intervenções de quaisquer natureza. Outra alteração notável na Situação Atual foi a remoção do banco de areia frontal as comportas do Tibau e o aprofundamento da área quando do projeto Parque da Ilha do Tibau.



**Figura 83 Aporte do mar para a lagoa de Piratininga pelas preamares.**

As intervenções nos três blocos são pertinentes cabendo observar que no caso do Bloco 1, Situação Projetada 1 as melhorias e reparo das comportas iriam atender afinal as especificações da projetista ENGEVIX, que aparentemente não foram observados pela empresa construtora das estruturas.

Outra proposta é a instalação das comportas basculantes sobre a crista, diminuindo a entrada d'água, mas evitando o retorno de água salgada mais limpa. A experiência das partes móveis não funcionou a contento no caso do projeto original cujas comportas hoje estão estáticas. A elevação pura e simples

de mais 10 cm sobre a crista como proposta no Bloco 1 Situação Projetada 2 alteraria a Situação Atual, com menos aporte de água do mar, mas é garantia de funcionamento passivo nos mesmos moldes que agora.

As intervenções no Bloco 2 “Piratininga Canal de Camboatá” visam a melhoria das condições de Piratininga e garantem a segurança do escoamento da lagoa pelo canal de Camboatá em caso de chuvas excepcionais.

Do ponto de vista determinístico as intervenções no Bloco 3 “Itaipú – Mar” estão conforme, ressaltando-se que:

Que uma eventual dragagem que aprofundasse o canal de Itaipu teria efeito imediato abaixando o nível da lagoa de Itaipú em 10 cm pela eliminação da “soleira” representada pelo Delta de Maré, possibilitando o avanço da ocupação das áreas úmidas. O prolongamento das guias correntes e a eliminação da soleira de areia extinguiria sua contribuição como eventual filtro natural dos resíduos dos efluentes tratados que vão para as praias de Camboinhas e Itaipú;

Que a areia oriunda da dragagem pode ser usada equivocadamente para aumentar esta ou aquela área vizinha à lagoa, possibilitando sua ocupação;

Que a médio e longo prazo as componentes morfodinâmica locais irão trabalhar para reconstruir o cordão litorâneo;

## 5 Conclusões

Daquilo discutido pode-se concluir:

- Que nossos dados de sondagem (2017), quando comparados com a sondagem realizada há 22 anos no centro da lagoa, mostram que não houve modificação por assoreamento no local. Isto nos leva a concluir que a percepção quanto ao assoreamento é mais em função da diminuição do nível de água da lagoa do que o aumento da espessura de sedimentos do fundo lagunar,

- A lama orgânica ou vasa, já havia sido observada de forma generalizada há 70 anos por OLIVEIRA, o que nos leva também a concluir que parte deste



material era transformado naturalmente por processos bioquímicos na própria lagoa;

- Que tanto a lagoa de Piratininga quanto a de Itaipú sofreram processos de assoreamento localizados na foz de seus cursos d'água afluentes, gerando pequenos deltas intra lagunares em suas porções mais internas

- Que ocupação de terras públicas, aterros das terras úmidas feitos pelo homem, além de construções nestas mesmas terras úmidas, não podem ser considerados processos de assoreamento;

- Que reportagens são feitas há mais de trinta anos reproduzindo situações parecidas nas quais o fundo da lagoa de Piratininga ou o "delta de mare" no canal artificial de Itaipú são fotografados expostos, em condições subaéreas. Na verdade refletem ressecamentos relacionados à períodos de estiagens .

- Que se excetuando as chuvas que alimentam os cursos d'água afluentes, a quase totalidade das águas que drenam pelo canal de Itaipú e pelo túnel de Piratininga são águas transpostas, oriundas de outra bacia (do rio Macacu), entregues a população, usadas e devolvidas em forma de esgoto ao sistema lagunar;

- Que a fixação do nível das lagoas, através da abertura do canal de Itaipú e da construção do túnel do Tibau, permitiu a ocupação de suas margens de tal maneira que não é mais possível retornar aos níveis dos primeiros registros históricos sem impactar fortemente as edificações da população que as margeiam;

- Que até a presente data fica a impressão que o gerenciamento do sistema lagunar pelas autoridades públicas é empírico, baseando-se em tentativas e erros e que a cada erro impacta o sistema de maneira irreversível;

- Que o uso da modelização matemática seja atualizado para a Situação Atual, tendo suas premissas e hipóteses discutidas com a sociedade residente na área afetada;

- Que a linha de Base, o Nível do Mar, seus máximos e mínimos astronômicos e toda a informação que contemple medidas altimétricas, sejam

inequivocamente relativizados à mais próxima Referência de Nível do IBGE, para que toda esta informação esteja sob uma mesma base cartográfica ortométrica.

## **5.1 Sugestão de continuidade**

O trabalho de Ireland, executado há trinta anos, demonstra atenção com os detalhes e cuidado com o posicionamento e com as altitudes. Todo seu estudo é referenciado ao “zero” de Imbituba.

Ireland fez diversas sondagens em lagoas costeiras da região chegando até Itaipú, mas não abarcando a lagoa de Piratininga. Outros estudos estão sendo levados a cabo nas lagoas do litoral do Estado do Rio de Janeiro que podem vir a lançar luz sobre a justaposição dos cordões Holocênicos e Pleistocênicos nas proximidades da cidade do Rio de Janeiro. Oportuno seria dar sequência a estes estudos, fazendo sondagens de pelo menos seis metros de profundidade em pontos sobre os meridianos  $43^{\circ} 04' 06''$ ,  $43^{\circ} 04' 33''$  e  $43^{\circ} 05' 22''$ . Os furos contemplariam no mínimo os limites norte da lagoa, as partes centrais e um ou dois furos sobre a restinga. A técnica de determinação da altitude ortométrica do fundo da lagoa desenvolvida pelo Prof. Gilberto Tavares de Macedo Dias e o autor, poderá ser empregada, apoiando-se na RN 3000F do IBGE, dentro da área proposta.

## Referências

- ALVES, A. R.; & WASSERMAN, J. C. Determinação do tempo de renovação em sistemas lagunares. **Mundo Vida Alter. Est. Amb**, v. 3, n. 1, p. 48-53, 2002.
- APRH. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Escala. **Gestão Costeira Integrada**, 2007. Disponível em: <Gestão Costeira Integrada>. Acesso em: 10 Outubro 2017.
- ARTHUR. **Notas de Aula**. Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2017.
- BARROSO, L. E. A. **A pesca nas lagoas costeiras fluminenses**. IBAMA. Brasília. 2000.
- BARTH, O. M.; BARTHOLOMEU, R. L.; DE BARROS, M. A. Paleoambiente e Palinologia de um Nível de Sedimento de cerca 40.000 anos AP Retirado da Lagoa de Itaipu, Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 91-95, 2013.
- BEAUMONT, D. **Leçon de géologie pratique**. 1845.
- BIRD, E. C. Physical setting and geomorphology of coastal lagoons. **Elsevier Oceanography Series**, v. 60, p. 9-39, 1994.
- BOOTHROYD, J. C. Tidal inlets and tidal deltas. In: BOOTHROYD, J. C. **Coastal sedimentary environments**. New York: Springer, 1985. p. 445-532.
- CARNEIRO, M. E. R. et al. **A biomassa de Chara hornemannii em relação ao comportamento físico-químico da lagoa de Piratininga (RJ)**. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 1994. p. 213-222.
- CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. Coastal evolution: an introduction. In: CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. **Coastal Evolution: late Quaternary shoreline morphodynamics**. New York: Cambridge University Press, 1994. p. 1-31.
- CASTILHO, M. **Pescando Histórias**. UFF e Associação Livre de Pescadores e Amigos da Praia de Itaipu. Niterói, p. 12. 200-?

CATANZARO, L. F. et al. Distinctive sedimentary processes in Guanabara Bay-SE/Brazil, based on the analysis of echo-character (7.0 kHz). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 22, n. 1, p. 69-83, 2004.

CHM. Sondagem Batimétrica. **Centro de Hidrografia da Marinha**, 2017. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-levantamento-hidrografico/sondagem.html>>. Acesso em: 10 Outubro 2017.

CLARK, J. A.; FARRELL, W. E.; PELTIER, W. R. Global changes in post glacial sea-level: a numerical equation. **Quaternary Res**, v. 9, p. 265-287, 1978.

CLIP. **Estratégia para Gerenciamento Ambiental Compartilhado dos Ecossistemas Lagunares de Itaipu e Piratininga e da Região Hidrográfica**. Subcomitê do Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga, Governo do Estado do Rio de Janeiro. Niterói. 2015.

COPELAND, B. J. Environmental characteristics of hypersaline lagoons. **Publications of the Institute for Marine Science (University of Texas)**, v. 12, p. 207-218, 1967.

COWELL, P. J.; THOM, B. G. **Morphodynamics of coastal evolution**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 1994.

CUNHA, L. C. **Dinâmica de nutrientes e biomassa algal no sistema lagunar de Piratininga, Niterói, RJ: efeitos da instalação de uma comporta**. Universidade Federal Fluminense. p. 118. 1996.

CUNHA, L. C. D.; WASSERMAN, J. C. Relationships between nutrients and macroalgal biomass in a Brazilian coastal lagoon: the impact of a lock construction. **Chemistry and Ecology**, v. 19, n. 4, p. 283-298, 2003.

DA SILVA, B. B. **Registros de Paleocincêndios no entorno da Lagoa de Piratininga**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2011.

DIAS, G. T. M. **Notas de Aula**. Universidade Feral Fluminense. 2016.

DIAS, G. T. M.; KJERFVE, B. Chapter 7 Barrier and Beach Ridge Systems of the Rio de Janeiro Coast. In: S. R. DILLENBURG, P. A. H. **Geology and**

**Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil.** Springer, v. 107, 2009. p. 225-252.

DILLENBURG, S.; HESP, P. **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil.** Springer, v. 107, 2009.

ELIAS, E. P. L.; STIVE, M. J. F. The effect of stratification on the residual flow in a mixed-energy tide-dominated inlet. In: SANCHEZ-ARCILLA, A. **Coastal Dynamics 2005 State of the Practice.** 2006. p. 1-13.

EMERY, K. O. Continental shelf sediments of Southern California. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1105-1108, 1952.

EMERY, K. O. Relict sediments on continental shelves of world, v. 52, p. 445-464, 1968.

FIGUEIREDO-JR, A. G. **Submarine sand ridges: geology and development.** University of Miami. Unpublished. New Jersey, USA, p. 408. 1984. Unpublished.

FISHER, J. J. Barrier island formation: discussion. **Geological Society of America Bulletin**, v. 79, n. 10, p. 1421-1426, 1968.

GAGG, G. **Apostila de Levantamentos Hidrográficos, Noções Gerais.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. p. 41. 2016.

GILBERT, G. K. The topographic features of lake shores. **Annual Report, U.S. Geological Survey**, v. 5, p. 75-123, 1885.

GUILD, F. J. et al. The application of acoustic emission to fibre-reinforced composite materials. **Composites**, v. 7, n. 3, p. 173-179, 1976.

HAYES, M. O.; KANA, T. W. **Terrigenous clastic depositional environments: Tech. Rept. CRD-11.** University of South Carolina. 1976.

HERBERT, R. A. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. **FEMS microbiology reviews**, v. 23, n. 5, p. 563-590, 1999.

HOYT, J. H. Barrier island formation. **Geological Society of America Bulletin**, v. 78, p. 1125-1135, 1967.

IBGE. População de Niterói. **Cidades**, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/rj/niteroi/panorama>>. Acesso em: 10 Outubro 2017.

IHO. **Manual on Hydrography**. International Hydrographic Bureau. Mônaco, p. 540. 2005.

IRELAND, S. **Holocene coastal changes in Rio de Janeiro state, Brazil**. Durham University. Doctoral Dissertation. Durham. 1988.

KJERFVE, B. **Coastal Lagoon Processes**. Elsevier Science Publishers, 1994.

KJERFVE, B. et al. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Continental shelf research**, v. 17, n. 13, p. 1609-1643, 1997.

KJERFVE, B.; MAGILL, K. E. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. **Marine geology**, v. 88, n. 3-4, p. 187-199, 1989.

KNEIP, L. M.; PALLESTRINI, L. **Pesquisas arqueológicas no litoral de Itaipu, Niterói, Rio de Janeiro**. Editora Gráfica Luna, 1981.

KNOPPERS, B. Aquatic primary production in coastal lagoons. **Elsevier oceanography series**, v. 60, p. 243-286, 1994.

KNOPPERS, B.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A. G. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. **GeoMarine Letters**, 19, n. 3, 1999. 171-178.

KNOPPERS, B.; KJERFVE, B.; CARMOUZE, J. P. Trophic state and water turn-over time in six choked coastal lagoons in Brazil. **Biogeochemistry**, v. 14, n. 2, p. 149-166, 1991.

KRUMBEIN, W. C. Application of Logarithmic Moments to Size Frequency Distributions of Sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, 6, 1936. 35-47.

LAVENERE-WANDERLEY, A. A. D. O. **Caracterização Ambiental da lagoa de Itaipu através do entendimento dos processos sedimentares em associação com a dinâmica atual**. Universidade Federal Fluminense. Niterói. 1999.

MEE, L. D. Coastal lagoons. **Chemical Oceanography**, v. 7, p. 441-490, 1978.

MILNE, G. A.; LONG, A. J.; BASSETT, S. E. Modelling Holocene relative sea-level observations from the Caribbean and South America. **Quaternary Science Reviews**, v. 24, n. 10, p. 1183-1202, 2005.



MIYOSHI, E. M.; SANCHES, C. A. **Projetos de Sistemas de Rádio**. Editora Erica, 2002.

MOORE, N. H.; SLINN, D. J. The physical hydrology of a lagoon system on the Pacific coast of Mexico. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, 19, n. 4, 1984. 413-426.

MUEHE, D.; & ALBURQUERQUE, G. C. Batimetria e sedimentologia da Lagoa de Itaipu. **Comunicagdes de segundo encontro nacional de geografos**, p. 228-231, 1976.

MUEHE, D.; CORREA, C. H. T. Dinâmica de praia e transporte de sedimentos na restinga de Maçambaba RJ. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 19, p. 387-392, 1989.

O'BRIEN, M. P. Estuary tidal prisms related to entrance areas. **Civil Engineering**, v. 1, n. 8, p. 738-739, 1931.

OLIVEIRA, L. P. H. Estudo Hidrobiológico das lagoas de Piratininga e Itaipú. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, p. 674 a 718, 1948.

RESENDE, M. D. C. C. M. **Processos Sedimentares Naturais e Antrópicos na Laguna de Piratininga - Niterói RJ**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 1995.

RIBEIRO, K. D. K. D. F. Eutrofização. **Brasil Escola**. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/biologia/eutrofizacao.htm>>. Acesso em: 07 maio 2017.

SAMPAIO, A. C. F. et al. **Datum Córrego Alegre: Monumento Histórico da Cartografia Brasileira**. VI Simpósio Luso-Brasileiro de Cartografia Histórica. Braga, Portugal. 2015. p. 14.

SANCHES, C. A. **Projetando Redes WLAN**. São Paulo: São Paulo, 2007.

SIKORA, W. B.; KJERFVE, B. Factors influencing the salinity regime of Lake Pontchartrain, Louisiana, a shallow coastal lagoon: Analysis of a long-term data set. **Estuaries and Coasts**, v. 8, n. 2, p. 170-180, 1985.

SILVA, B. I. D. **Capitanias Hereditárias**. Universidade do Vale do Sapucaí - UNIVÁS. 2008.

SILVA, C. G. et al. Granulados Litoclásticos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, n. 3, p. 319-326, 2000.

SWIFT, D. J. P.; STANLEY, D. J.; & CURRAY, J. R. Relict sediments on continental shelves: a reconsideration. **Journal of Geology**, Chicago, v. 79, p. 322-346, 1971.

TELECO. Rádio Enlace I: Geociências I. **Teleco**, 2017. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrenlace1/pagina\\_4.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrenlace1/pagina_4.asp)>. Acesso em: 10 Outubro 2017.

TURCQ, B. et al. Variability of beach ridges on the coast of Maricá (Rio de Janeiro, Brazil). **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, v. 4, p. 45-57, 1986.

TURCQ, B. et al. Origin and evolution of the Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil & Abrão, JJ (eds.). Environmental geochemistry of coastal lagoon systems. **Série Geoquímica Ambiental**, v. 6, p. 25-46, 1999.

UDDEN, J. A. **The Mechanical Composition of Wind Deposits**. Rock Island: Lutheran Augustana Library, v. III, 1898.

WRIGHT, L. D.; THOM, B. G. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. **Progress in Physical Geography**, v. 1, n. 3, p. 412-459, 1977.