# ELABORAÇÃO DE ESTUDOS INVESTIGATIVOS PRELIMINARES, RELATÓRIO TÉCNICO DE PROPOSIÇÕES DE SOLUÇÕES E PROJETO BÁSICO DE ENGENHARIA PARA ESTABILIZAÇÃO DA PRAIA DE PIRATININGA E A RECUPERAÇÃO DO SEU CALÇADÃO

## Plano de Trabalho

**C181002-PB-COS-RT-001-00**

**Dezembro de 2018**

# ÍNDICE

1. Apresentação 1
2. Plano de Trabalho 1
2.1. Pesquisa Bibliográfica e Estudos Preliminares ..... 3
2.1.1. Pesquisa Bibliográfica ..... 3
2.1.2. Estudos Preliminares ..... 6
2.2. Diagnóstico, Modelagem Hidrodinâmica e Morfodinâmica para Avaliação das Alternativas ..... 17
2.3. Elaboração de Relatório Técnico ..... 21
2.4. Elaboração do Projeto Básico de engenharia da Alternativa Selecionada ..... 21
2.5. Cronograma de Execução e Desembolso ..... 23

# 1. Apresentação

Este relatório consiste no R1 – Plano de Trabalho – previsto no cronograma para elaboração de Estudos Investigativos Preliminares, Relatório Técnico de Proposições de Soluções e Projeto Básico de Engenharia para Estabilização da Praia de Piratininga e a Recuperação do seu Calçadão, com fundamento no processo administrativo nº 180001033/2018, de acordo com proposta de trabalho detalhada no Contrato de Prestação de Serviços SEXEC nº 012/2018. São descritas, a seguir, as atividades que compõem o Plano de Trabalho.

# 2. Plano de Trabalho

Os objetivos do serviço são os seguintes:

- Realizar estudos preliminares de engenharia costeira e geotecnia a fim de avaliar a dinâmica da Praia de Piratininga;
- Realizar modelagem matemática considerando em cada cenário as alternativas sugeridas a fim de subsidiar a escolha da ação de conservação a ser escolhida;
- Elaborar relatório técnico apresentando um diagnóstico da área e proposição de soluções técnicas para recuperação dos trechos erodidos e para estabilidade da Praia de Piratininga, com a finalidade de subsidiar a escolha da melhor técnica a ser implantada;
- Elaboração de Projeto Básico de engenharia da alternativa escolhida.

O escopo dos serviços será realizado em cinco etapas: (I) plano de trabalho, (II) pesquisa bibliográfica e estudos prévios, (III) Diagnóstico, Modelagem Hidrodinâmica e Morfodinâmica para Avaliação das Alternativas, (IV) relatório técnico de proposição de ações para estabilização da Praia de Piratininga e (V) elaboração de projeto básico de engenharia da solução selecionada.

Nesta etapa será apresentado o plano de trabalho revisado com a apresentação dos seguintes produtos: listagem das atividades, metodologia a ser utilizada no desenvolvimento dos estudos, fluxograma das atividades e cronograma de execução global.

A **Figura 1** apresenta um fluxograma geral do trabalho.



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

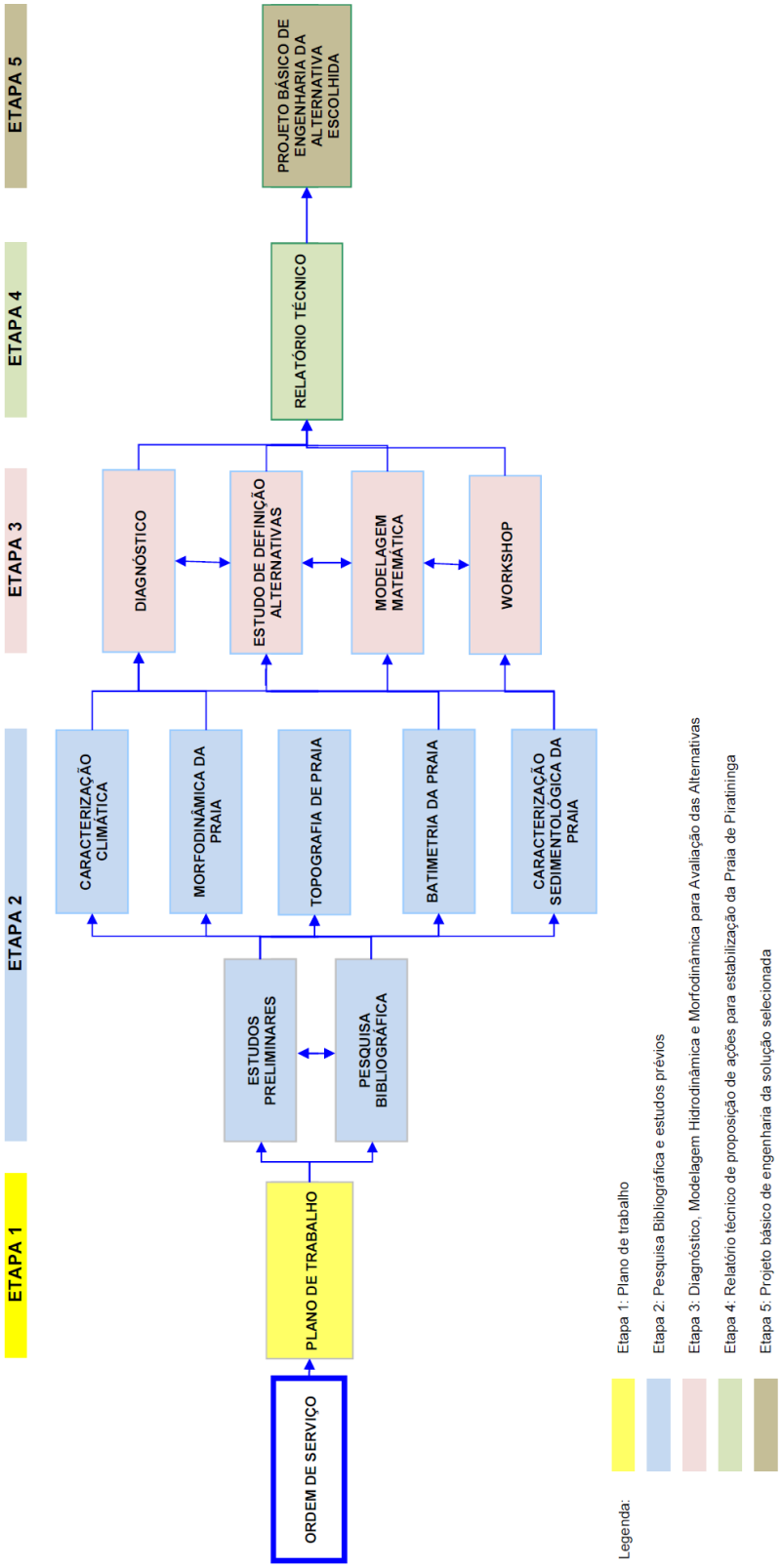


**Figura 1: Fluxograma geral dos trabalhos.**



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

## 2.1. Pesquisa Bibliográfica e Estudos Preliminares

### 2.1.1. Pesquisa Bibliográfica

Para o conhecimento do problema de erosão da praia deve-se primeiro recorrer aos estudos e levantamentos já efetuados na região. As fontes importantes são a própria prefeitura de Niterói, o INEA, a DHN, as universidades (em especial a UFF e a UFRJ), jornais, publicações, etc. Desta forma, procura-se obter uma base para um diagnóstico da situação.

Nesta etapa, serão levantados os estudos pretéritos efetuados na região através de revisão bibliográfica e outros documentos, tais como: imagens de satélite, fotos aéreas, dados fisiogeográficos (clima, geologia, geomorfologia, paleogeografia e oceanografia), histórico do uso e ocupação, dinâmica praial e o que for mais necessário a fim de consolidar o conhecimento do problema do processo erosivo que ocorre na praia, assim se terá uma base para o diagnóstico da situação.

Ainda serão levantados os registros de ocorrências de ressaca e consequentemente de erosão e desabamento do calçadão da Praia de Piratininga, identificando as áreas de ocorrência predominantes, avaliando a intensidade dos danos e períodos de ocorrência e condições meteoceanográficas da época.

Entre os dados necessários, um dos mais importantes é o clima de onda. As fontes pretéritas se basearam em dados medidos por dois ondógrafos e por dados de modelo de retro-análise (Hind cast). Os dados de ondógrafos serão obtidos dos programas PNBOIA e Rede Ondas. Já os dados de retro-análise serão obtidos do programa NOAA, do governo americano. A Figura 2 mostra os locais de dados de ondas disponíveis: as estações Rio de Janeiro 1 e Rio de Janeiro 2. A estação Rio de Janeiro 1 dista poucos quilômetros da praia de Piratininga, tendo o intervalo de medição de agosto de 2015 a junho de 2016. A Figura 3 mostra os resultados medidos de altura significativa, período e direção em julho de 2016.

O programa Nacional de Boias (PNBOIA) está inserido no sistema GOOS-Brasil, que é a componente GOOS brasileira da Aliança Regional para a Oceanografia no Atlântico Sudoeste Superior e Tropical - OCEATLAN. O GOOS-BRASIL é um sistema nacional de observação



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

dos oceanos visando a coleta, controle de qualidade, distribuição operacional de dados oceanográficos e monitoramento oceanográfico e climatológico no Atlântico Sul e tropical.

Apesar de sua ampla utilização nos meios científicos e de previsão meteorológica, a medição de ondas é uma das mais complexas variáveis meteoceanográficas monitoradas pelo PNBOIA. As boias utilizam o sensor direcional de ondas Triaxys™, equipado com três acelerômetros e três sensores angulares, que lhe permitem medir com precisão as acelerações nos eixos ortogonais x, y e z, bem como os movimentos de pitch, heave e roll. As medidas de ondas são divididas em direcionais e não direcionais (Altura máxima (Hmax), Altura Significativa (Hs), Período, Frequência, etc).

As boias são configuradas para realizar um ciclo a cada hora, iniciando na hora cheia. Durante os primeiros vinte minutos de cada hora, as variáveis ambientais (i.e. ondas, vento, correntes, temperatura do ar, pressão atmosférica, etc.) são coletadas, seguindo a seguinte configuração:

**Figura 2: Locais dos ondógrafos do programa PNBOIA.**



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

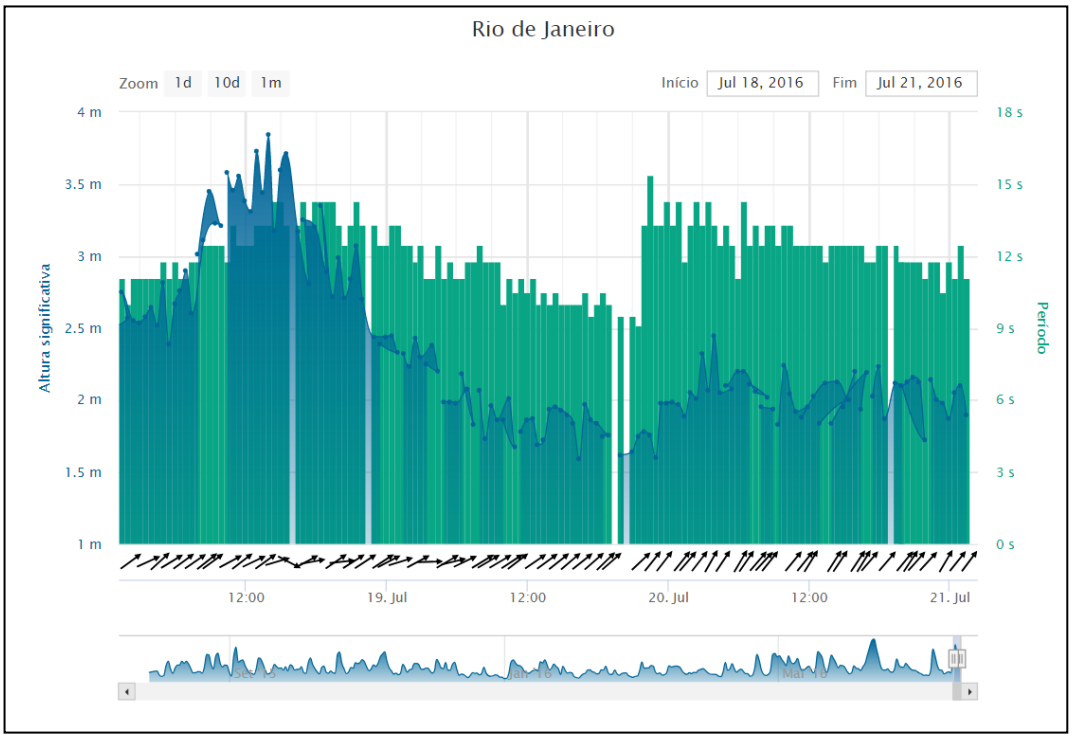


**Figura 3: Dados medidos no ondógrafo Rio de Janeiro 1 do programa PNBOIA.**

Com objetivo de obter uma estatística com uma série mais longa (décadas) e sem falhas sobre o clima de ondas na região, serão utilizados os dados obtidos do NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Esta série de dados é obtida através de modelo computacional WW3 de retro-análise (hind cast).

O modelo de geração e propagação de ondas WW3 é um modelo de terceira geração baseado no trabalho realizado pelo WAM group e desenvolvido pela NOAA (Tolman, 2002). Este modelo resolve a equação de balanço do espectro de energia de ação em função do número de onda e da direção. A parametrização dos termos de ganho e dissipação de energia, bem como a representação das interações não lineares utilizadas neste estudo são a proposta por Tolman e Chalikov (1996) e a Discrete Interaction Approximation (DIA, Hasselman et al., 1985), respectivamente.

Como não há registros de ondas no local a menos de observações visuais na praia realizadas por silva et alli (2009) entre 2001 e 2006, que registraram características como altura, período, direção das ondas, permitindo uma avaliação -ainda que estimada- das condições de mar



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

atuantes; essas serão usadas como um balisamento dos resultados das simulações de ondas. De maneira geral as ondas locais chegam na praia alinhadas com a direção S, apresentando alturas entre 0,3 e 0,7 m aproximadamente, chegando a alcançar uma altura média superior a 1 m, em situações de inverno. Os períodos variaram entre 8 s (verão) e 13 s (inverno). Já durante as ressacas, as ondas também vêm de S, mas principalmente de SW. As alturas variaram entre 0,9 e 1,5 m na sua maioria; em caso extremo ultrapassam 2 m. Os períodos médios das ondas, nesse estado de mar mais agitado, são superiores a 10 s.

### 2.1.2. Estudos Preliminares

Após o levantamento dos dados secundários, serão realizados levantamentos primários para a complementação dos dados. Desta forma, será possível o completo entendimento do problema (diagnóstico). Além disto, os dados vão dar subsídio à formulação dos anteprojetos das possíveis alternativas e projeto básico da alternativa escolhida. Estes dados serão necessários também para a aplicação dos modelos hidrodinâmico e morfodinâmico.

Assim, serão realizados levantamentos de topografia, batimetria e caracterização sedimentológica da praia de Piratininga. Além disto, será realizado um estudo de morfodinâmica da praia com a utilização de dados de levantamentos de: maré, ondas, correntes e clima.

#### a) Topografia de praia levantamento topográfico e transporte litorâneo de sedimentos

As campanhas de levantamentos da topografia da praia são fundamentais para o entendimento da morfodinâmica da praia de Piratininga. Pois permitirão o entendimento da dinâmica da movimentação da areia ao longo do arco praial.

A aquisição em campo será desenvolvida de acordo com as metodologias de execução, precisões e padrões previstos pela na NBR 13133/1994 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Serão utilizados os seguintes equipamentos e softwares para a aquisição em campo e processamento dos resultados, apresentados a seguir e ilustrados pela Figura 4:



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

- 01 (uma) Estação-Total Geodetic GD2i e acessórios de topografia;
- 01 (um) Par de GNSS (L1 / L2) Javad, modelo Triumph-1;
- 01 (um) Software de automação topográfica Topograph, versão 2016;
- 01 (um) Veículo; e
- Ferramentas e EPIs individuais e coletivos.

**Figura 4: Equipamentos usados nos serviços de topografia: Estação-Total e par de GNSS.**

A primeira etapa será transportar, por GPS, dois pontos de apoio visando a partida planialtimétrica da topografia, com base fixada em marco oficial do IBGE e a utilização de um par de receptores GPS modelo Triumph-1 da Javad GNSS, com tempo de duração de duas horas cada ponto e intervalo de gravação de 5 segundos. Foram selecionados as Referencias de Nível (RN) o marco 3340B, localizado no monumento, ao lado do D.P.O. de Piratininga, no entroncamento das Avenidas Tamandaré com Acúrcio Torres, em Piratininga, Niterói-RJ e o marco 3000F localizado na base de concreto, do lado de dentro do muro do Iate Clube Piratininga, entre os dois portões de entrada do clube, na Rua Milton Rocha Sagres, em Piratininga. Seis pontos de apoio serão materializados sendo um par em cada extremidade da praia de Piratininga e um par próximo a Referência de Nível (RN) 3000F.

Os dados obtidos pelo par de GNSS serão processados utilizando o método do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE, que permite aos usuários de GPS, obterem coordenadas de precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e no International Terrestrial Reference Frame (ITRF).



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

Os levantamentos topográficos dos perfis de praia serão realizados em duas campanhas: a primeira iniciando no verão (dezembro de 2018) e outra no inverno (junho de 2019). Foram definidos em escritório 15 (quinze) perfis ao longo do arco praial, espaçados de 200 (duzentos) em 200 (duzentos) metros,ou espaçamento ainda menor visando definir locais específicos, como as extremidades do arco praial e os perfis mais coincidentes com aqueles levantados em estudos anteriores, quais sejam: o extremo oeste, o extremo leste e o localizado no centro da praia. A Figura 5 mostra a localização dos perfis planejados e a Tabela 1 apresenta as coordenadas dos pontos iniciais destes perfis.

Os perfis partirão de um ponto fixo -no calçadão ou no canteiro central- rumo ao mar, procurando identificar, sempre que presentes no perfil levantado, o calçadão propriamente dito, o início e fim de obras de recuperação, bem como as feições morfológicas do setor emerso da praia como dunas frontais, vegetação de restinga, extensão de berma, além de variações topográficas significativas do terreno. Procurar-se-á adentrar na água até o limite de operação dos prismas pelos auxiliares de topografia. Esse levantamento será realizado em data e horário mais adequado de maré e ondas, visando a coleta de dados em cotas inferiores.

Será realizado um levantamento topográfico cadastral, a partir do canteiro central da praia de Piratininga, contemplando os bordos de meio-fio da pista sentido Camboinhas, e a interface calçadão-praia em cada perfil topográfico. Como complementação, as informações de meio-fio e interface calçadão-praia serão obtidas das informações disponíveis no software Google Earth.

A partir dos levantamentos em diferentes datas, serão verificadas as áreas de acresção e/ou erosão, fornecendo subsídios para compreensão da dinâmica sedimentar, como os processos que descrevem o comportamento da morfodinâmica na praia, que podem ser estudados de acordo com três escalas de processos: de longo termo (equilíbrio dinâmico – anos e décadas), médio termo (sazonal – inverno – verão) e curto termo (condições de tempestades – horas a dias), (Gonzáles et.al., 2009). Tais levantamentos possibilitarão uma avaliação das variações volumétricas do perfil de praia e, em conjunto com estudos realizados na praia em cena, objetivarão identificar a tendência de estabilidade ou de erosão das áreas central, leste e oeste, face as condições oceanográficas e geológicas.



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

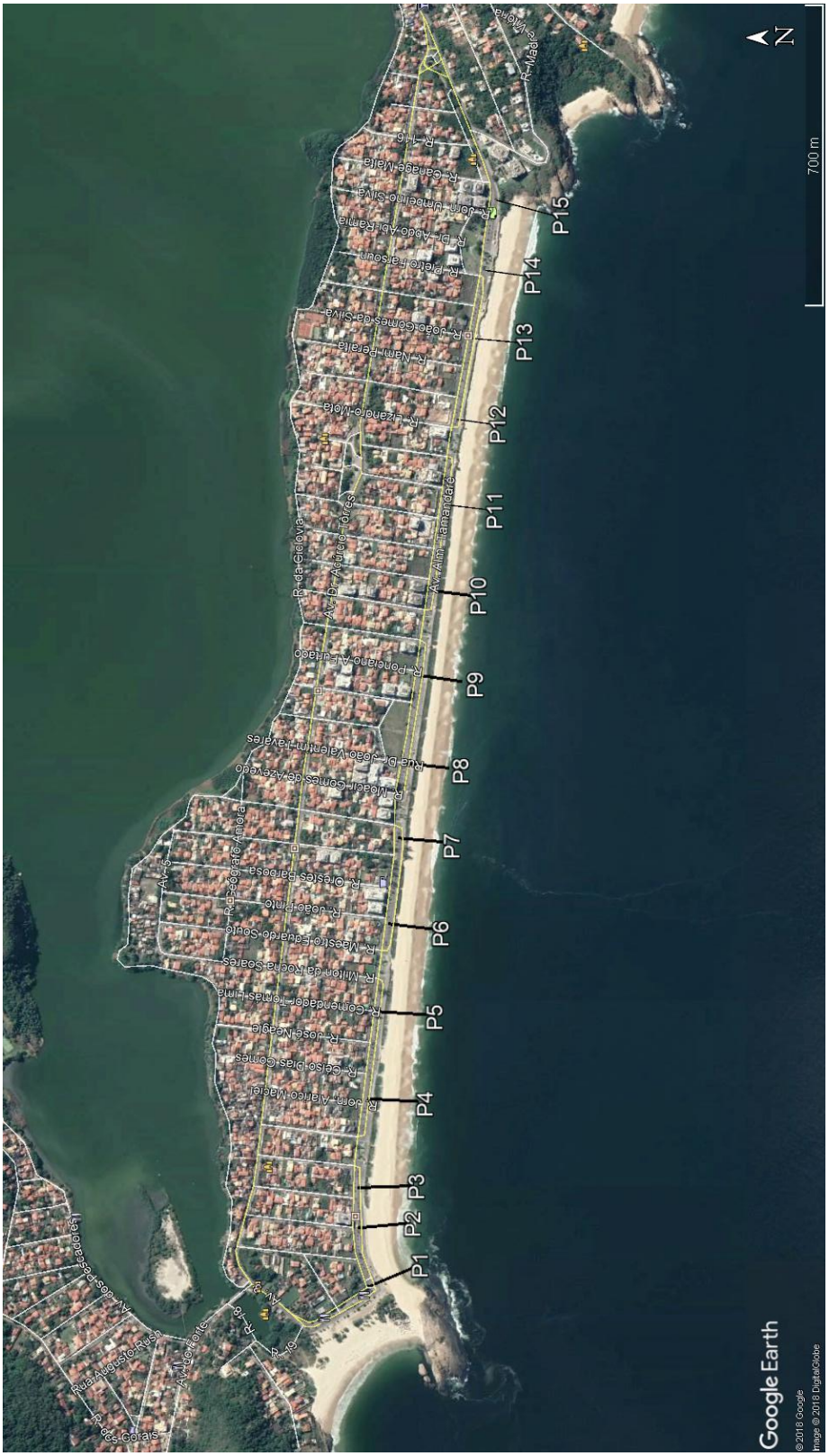


**Figura 5: Localização dos perfis de praia.**



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

**Tabela 1: coordenadas dos perfis de praia**

| COORDENADAS DOS PONTOS INICIAIS | | |
|---|---|---|
| PONTO | NORTE | ESTE |
| P01 | 7460353.569 | 695149.346 |
| P02 | 7460359.257 | 695274.447 |
| P03 | 7460369.247 | 695398.293 |
| P04 | 7460357.170 | 695580.849 |
| P05 | 7460314.649 | 695780.300 |
| P06 | 7460299.832 | 696001.602 |
| P07 | 7460259.183 | 696189.863 |
| P08 | 7460237.578 | 696366.737 |
| P09 | 7460221.225 | 696569.798 |
| P10 | 7460178.646 | 696764.534 |
| P11 | 7460145.342 | 696977.395 |
| P12 | 7460130.134 | 697130.468 |
| P13 | 7460079.556 | 697362.455 |
| P14 | 7460061.205 | 697487.599 |
| P15 | 7460036.739 | 697646.101 |

**b) Batimetria da Praia de Piratininga**

A batimetria também é fundamental no entendimento da dinâmica costeira, pois, nesta etapa, será levantada a porção submersa do arco praial. Além disto, a forma de fundo subaquático é fortemente influenciadora na propagação das ondas, que são -em geral- o principal agente de movimentação de areia.

As metodologias de execução, precisões e padrões de levantamento batimétrico seguirão a NORMAM-25 (REV2), da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Os trabalhos serão precedidos do pedido de autorização para levantamentos hidrográficos, categoria “B”, junto ao Centro de Hidrografia da Marinha - CHM, de acordo com o Art. 37 do Decreto-Lei no 243. de 28/02/1967, Categoria “B” e também do recolhimento de ART - Anotação de Responsabilidade Técnica, conforme Lei n.º 6.496/77 e Resoluções do CONFEA no CREA do estado do Rio de Janeiro.

Para aquisição das profundidades, será empregado um ecobatímetro hidrográfico Bathy500 da SyQwest com precisão de 0,1% da profundidade, registro contínuo em papel térmico e frequência de 208 kHz, que será aferido com placa graduada em diversas profundidades, no início e final de cada dia de levantamento ou após qualquer interrupção que ocorra. Para o posicionamento das profundidades será utilizado um DPGS (Differential Global Positioning



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

System) R-131 da Hemisphere, acompanhado de correção diferencial fornecidas pelo sistema de assinatura anual OmniStar XP, que também terá sua integridade avaliada antes da aquisição em campo. Ambas as aferições (do ecobatímetro e do DGPS) serão descritas, detalhadas e apresentadas no relatório técnico.

Para a correção das profundidades, será instalado um posto de observação de maré a partir da implantação de réguas maregráficas e executado as leituras visuais, que posteriormente serão referenciadas ao plano vertical de Imbituba-SC (IBGE) e do nível de redução (NR) da DHN.

Durante o levantamento batimétrico, serão coletados simultaneamente e automaticamente os dados dos equipamentos de posicionamento (DGPS), de obtenção das profundidades (ecobatímetro) pelo programa Hypack Hydrographic Survey Software, versão 2013. Os dados serão tratados através de programas específicos para este tipo de dados, e os resultados apresentados em forma de mapas batimétricos e de relevo em escala de 1:2.000.

O levantamento batimétrico abrangerá a área demarcada na Figura 6, com distância de até 2.000m da linha de costa. Este levantamento que será realizado tem por finalidade mostrar com precisão a morfologia do fundo marinho, identificando as feições morfológicas geralmente encontradas nas áreas submersas, tais como bancos e cavas.

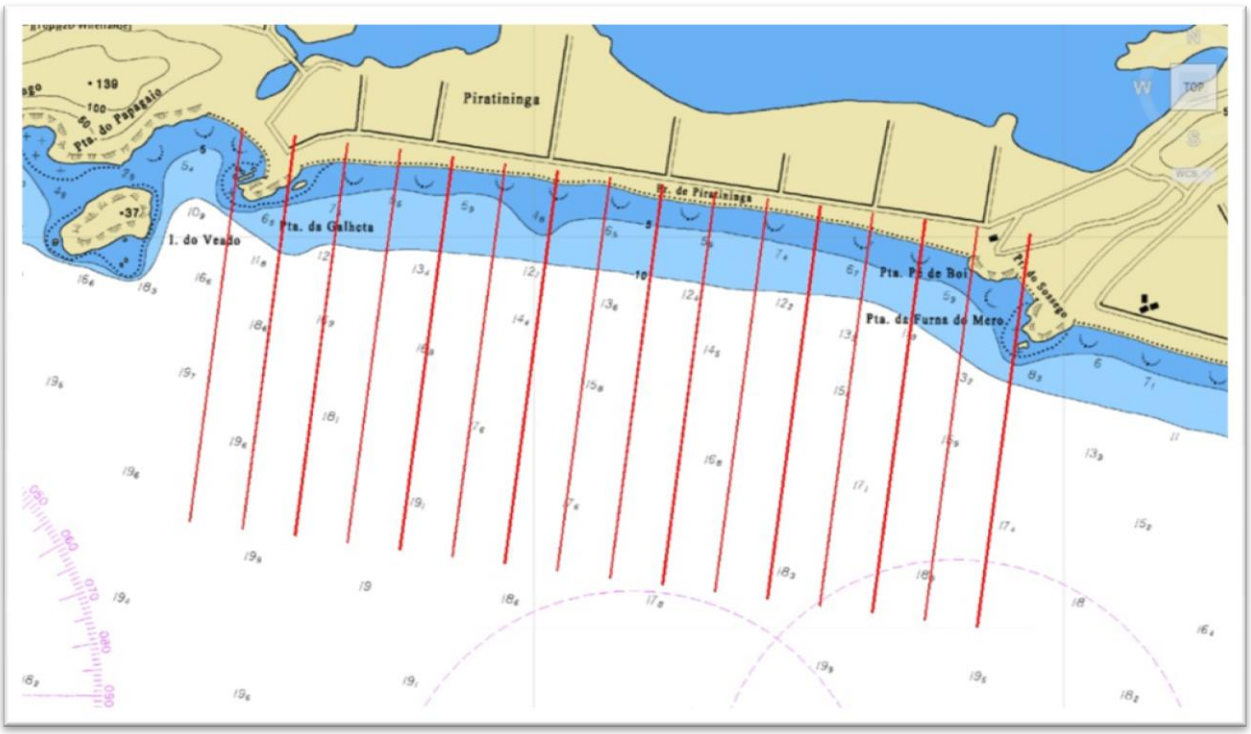


**Figura 6: Localização dos perfis de batimetria.**



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

**c) Caracterização sedimentológica da Praia de Piratininga - análise granulométrica da face praial**

A caracterização sedimentológica tem como finalidade mostrar a composição textural e granulométrica do sedimento dos perfis de praia. Para isso deverão ser coletadas amostras de sedimentos superficiais, em campanha única, em todos os 15 (quinze) perfis de praia a serem levantados, contemplando as áreas do pós-praia, estirâncio, zona de arrebentação e antepraia inferior (em profundidade de cerca de 2 a 3 m), perfazendo um total de 60 (sessenta amostras). Além destas, serão coletadas mais 18 amostras nas praias vizinhas: Prainha, praia do Sossego e praia de Camboínhas. As análises nas praias vizinhas tem por objetivo estudar a troca de areia entre estes sistemas praiais. As coletas das amostras deverão ser realizadas nos primeiros centímetros de sedimentos superficiais, abrangendo uma área representativa do perfil. Prevê-se a coleta das amostras no pós-praia, estirâncio e na arrebentação, durante a realização do perfil de praia, ao passo que a amostra da antepraia deverá ser coletada por embarcação, durante o serviço de levantamento batimétrico.

As amostras superficiais na parte emersa serão coletadas manualmente e na parte submersa será utilizada, quando necessário, uma draga van-veen. As amostras serão acondicionadas em embalagens herméticas, que serão identificadas em números sequenciais, coordenadas, data, hora, e outras observações relevantes (condições climáticas). Após a coleta, as areias serão encaminhadas para laboratório especializado em análise granulométrica, que consiste numa análise estatística da distribuição do tamanho dos grãos de cada amostra.

Os resultados de granulometria dos perfis serão apresentados em forma de gráfico (histograma e frequência acumulada) para cada local do perfil, de onde cada amostra poderá ser classificada como areia grossa, média ou fina, bem como poderão ser extraídos os parâmetros estatísticos como o diâmetro médio, por vezes chamado de diâmetro mediano, desvio padrão, assimetria e curtose.

O diâmetro médio reflete a média geral do tamanho dos sedimentos, sendo afetada pela fonte de suprimento do material, pelos processos de deposição e pela velocidade das correntes. O parâmetro $D_{50}$ (diâmetro mediano) e em algumas situações, o $D_{84}$ e $D_{16}$ são utilizados nas fórmulas de transporte litorâneo de sedimentos, presentes nas rotinas dos modelos computacionais, que será utilizado nesse trabalho, em etapa posterior. O desvio padrão representa o grau de seleção desse sedimento, que em geral aumenta em função do transporte



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

do sedimento e do grau de retrabalhamento das partículas, devido ao decréscimo da granulometria para sotamar da corrente. Assim, a seleção pode se processar pela ação de três tipos de mecanismos diferentes: seleção local (durante a deposição); seleção progressiva (durante o transporte); ou ambas ao mesmo tempo. A assimetria ou grau de assimetria de um sedimento é indicado pelo afastamento do diâmetro médio da mediana, ou seja, a posição da cauda da curva de distribuição de frequência modal. Sendo a assimetria positiva a distribuição da moda do sedimento se achará desviada para o lado dos valores maiores ou para as partículas mais finas. No caso de assimetrias negativas, a dispersão será para os valores menores ou partículas mais grossos. A curtose retrata o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência modal. A maior parte das medidas de curtose comporta a razão entre as dispersões (espalhamento) na parte central das curvas de distribuição. Distribuições muito platicúrticas indicam sedimentos bimodais, com duas modas iguais e amplamente separadas. Distribuições extremamente leptocúrticas indicam curvas excessivamente agudas, o que indica um sedimento unimodal e relativamente bem selecionado na parte central da distribuição. A curtose também pode ser utilizada como indicador do nível relativo de energia das ondas.

Os resultados serão referidos aos pontos amostrais georeferenciados em mapas. Serão utilizados os dados publicados Silva et alli (2009) que reúne 30 amostragens de sedimentos superficiais em 3 pontos da praia: nos extremos leste e oeste e no trecho central como base de comparação com as novas amostragens.

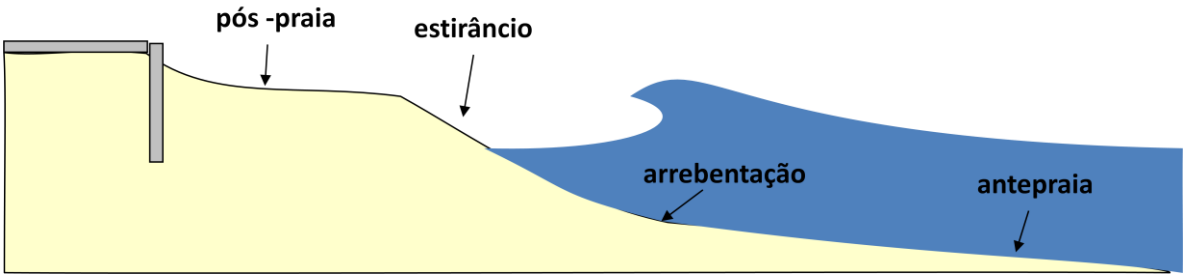


**Figura 7: Pontos de coleta de sedimentos no perfil.**



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

**d) Morfodinâmica da praia**

A morfodinâmica praial é um método de estudos que integra observações morfológicas e dinâmicas numa descrição mais completa e coerente da praia e zona de arrebentação. Serão realizados estudos a fim de avaliar o comportamento hidrodinâmico da Praia de Piratininga, analisando os dados de maré, correntes e ondas. Serão levantados dados de maré, ondas e correntes a partir do fundeio de um perfilador AWAC 600 KHz (Acustic Wave and Corrent Profile) da Nortek AS, acoplado a um suporte piramidal. De modo a promover a segurança à navegação e vigilância do equipamento, o local de fundeio de instalações do equipamento será sinalizado.

O local de instalação do perfilador acústico deve ser preferencialmente fora da região de sombra das ilhas do Pai e da Mãe, de modo que as ondas não recebam influência dos efeitos de difração, causado por estes obstáculos. Dessa forma, foi escolhido o ponto indicado na Figura 9, a uma profundidade de cerca de 20m e a uma distância de cerca de 3,4 km da costa.

**Figura 8: Perfilador Acústico AWAC para medição de maré, onda e correntes.**



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

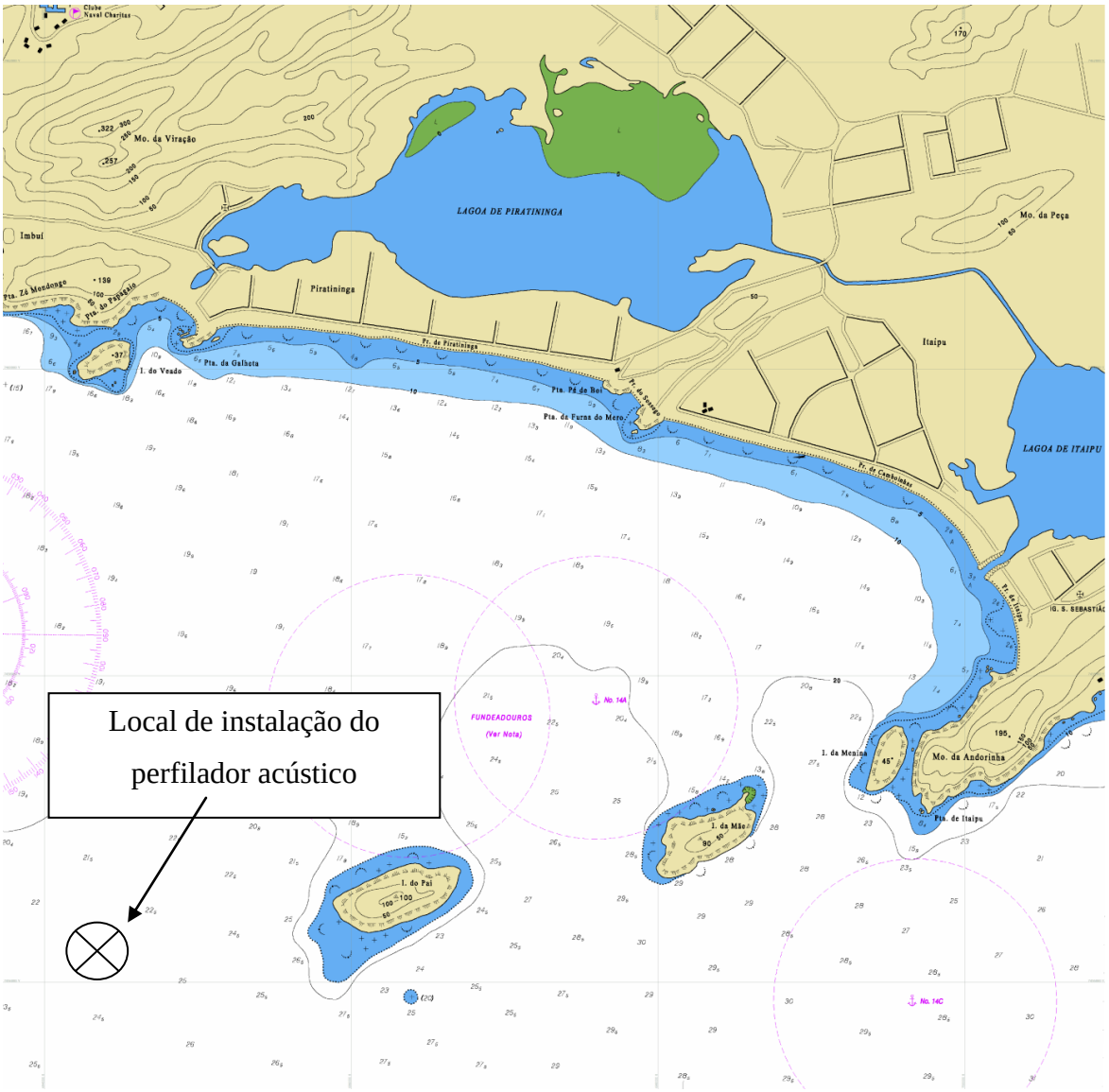


**Figura 9: Local de instalação do Perfilador Acústico.**

- **Marés**

As medidas das variações periódicas do nível do mar na área de estudo são fundamentais, já que estão associadas às mares astronômicas e meteorológicas que, junto com as ondas e o vento, são os principais forçantes no transporte de sedimentos ao longo da linha de costa.

Para isso, será realizado um levantamento do registro maregráfico da região por um período de 30 dias, de modo a contemplar os diferentes regimes de maré (sizígia e quadratura) nos períodos seco e chuvoso, perfazendo um total de 2 campanhas.



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

Ao fim do estudo pretende-se caracterizar o nível do mar, identificar as variações do nível do mar em diferentes escalas temporais e estabelecer as relações causais com fenômenos meteorológicos ou oceanográficos de escala local, de mesoescala ou larga escala.

- **Ondas**

Quanto às ondas, serão avaliadas as alturas, períodos, ângulo de incidência, direções predominantes (maior penetração de frente de onda, maior energia, comportamento em áreas rasas) fazendo uma reconstituição do clima de ondas, já que elas são o principal agente causador de erosão.

A obtenção de dados de ondas será através de medições in situ, ondógrafo do programa PNBOIA (com cerca de um ano de medição) e a partir de modelos globais retrospectivos (dados de ondas de reanálise). Esta última fonte apresenta a vantagem de suprir informações em intervalo de tempo longo (mais de 15 anos).

Como resultado deverá ser apresentado uma descrição do Clima de Ondas da região da Praia de Piratininga, contendo a análise estatística do Clima de Ondas interanual, sazonal e para todo o período avaliado.

- **Correntes**

Serão descritos o padrão geral das correntes para a região e caracterizar seu comportamento costeiro, identificando a intensidade e direção nas camadas próximas à superfície e ao fundo de acordo com as variações de maré (enchente e vazante). Para tanto, serão realizadas medições de correntes através da instalação de equipamentos tipo perfiladores acústicos que possibilitem a medição de correntes na superfície e no fundo por período de 30 dias, em 2 (duas) campanhas (verão/primavera e inverno/outono). Além disto, serão utilizados dados secundários recentes da área coletados por instituições de pesquisa de reconhecida expertise em estudos oceanográficos. Para complementação do entendimento das correntes, será aplicado um modelo matemático computacional de hidrodâmica. Este modelo tem condições de simular os principais agentes de correntes: marés, ondas e ventos.

A partir da obtenção desses dados, serão esclarecidas as questões como qual a magnitude das correntes que ocorrem em frente àpraia de Piratininga e quais as origens das correntes ali observadas.



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

**e) Caracterização climática**

Serão levantados e analisados os principais parâmetros climáticos (direção e velocidade dos ventos) para a área de estudo, a partir de dados secundários disponíveis nas estações meteorológicas da PMN, localizada em Piratininga e dos dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET a fim de caracterizar o vento da região e sua influência nas correntes marinhas locais.

## 2.2. Diagnóstico, Modelagem Hidrodinâmica e Morfodinâmica para Avaliação das Alternativas

Conhecer e entender os efeitos das variações nas condições energéticas (oceanográficas e meteorológicas) da zona costeira no presente e no passado, bem como fazer projeções para o futuro, é essencial para a maioria dos projetos de engenharia, sendo um requisito básico para o gerenciamento costeiro.

Primeiramente, será realizado um diagnóstico do problema para o entendimento e explicação científica dos fenômenos ocorridos e seus respectivos desenvolvimentos de uma situação (no nosso caso a praia de Piratininga) onde ocorrem manifestações patológicas (neste caso o processo erosivo). No Diagnóstico deve-se entender e levar em consideração todo o processo de evolução do caso, pois, assim como o aspecto de uma manifestação pode ser de uma maneira durante uma fase, em outro período pode encontrar-se completamente diferente.

O diagnóstico deve informar as causas da erosão, seu dinamismo, os danos ocorridos, as soluções já utilizadas, etc.

Após o diagnóstico, será feito um estudo de alternativas que será desenvolvido em algumas fases. A primeira fase é a Concepção, onde se apresentam ideias, pesquisas, e se reúne todas as informações, relacionando todas as formas possíveis de atender esses requisitos. A princípio, nos projetos de proteção costeira, se utilizam estruturas semi-rígidas como os enrocamentos (quebra mar, molhes, quebra mar submerso, etc.) ou flexíveis com a colocação de areia (engordamento), ou uma combinação de ambas. Dentre as alternativas capazes de recuperar a Praia de Piratininga, destacam-se: reforço da linha de costa com diques, muros, revestimentos contra deslizamentos; estruturas costeiras que promovam moderação das ondas



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

como quebra-mares, recifes artificiais ou naturais, espigões e similares; restauração via engordamento ou recuo da linha de costa e do calçadão em aproximadamente 10 m ou mais.

A partir dos dados obtidos nos estudos prévios e dos dados secundários, deverão ser aplicados modelos matemáticos de hidrodinâmica e transporte de sedimentos considerando os cenários atual e posterior a implantação de cada alternativa proposta, a fim de verificar o comportamento da praia pós intervenção, contemplando:

- condições de ondas;
- marés meteorológica e astronômica, e suas variações sazonais;
- correntes e níveis da água ao longo da Praia de Piratininga;
- padrão de transporte de sedimentos e possíveis interferências nas praias adjacentes;
- variação da linha de costa e a determinação dos locais de erosão e progradação;
- estabilidade da feição resultante das intervenções propostas.

As simulações irão abranger cenários representativos e durar um período suficientemente longo para que se tenha uma previsão representativa das mudanças possíveis na região, considerando, inclusive, a previsão de vida útil da intervenção realizada, sendo possível prever a resposta da praia após a implantação de cada ação, de modo a subsidiar a escolha da melhor alternativa.

Na modelagem prevê-se a utilização do pacote Delft3D que consiste em uma série de módulos integrados em uma mesma interface, que juntos permitem simular uma variedade de processos físicos. O módulo principal é o Delft3D-Flow, que acoplado com o modelo de ondas SWAN reproduz a hidrodinâmica próximo à costa. Este sistema é um dos mais utilizados e respeitados tanto no meio de consultoria quanto no meio acadêmico.

O Delft3D-Flow é um modelo numérico não estacionário baseado em processos físicos, que resolve a equação de Navier-Stokes para fluidos incompressíveis em água rasa considerando a aproximação de Boussinesq. O modelo considera os efeitos de refração, difração, reflexão e dissipação de energia das ondas ao longo de sua propagação desde águas profundas, ou da profundidade aonde haja dados, até a costa. Além da circulação devido a maré e a ventos. O módulo de transporte de sedimentos utiliza a equação de advecção-difusão e outras equações governantes, resultando em mudanças morfológicas ao longo do tempo. A modelagem



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

adotada considera as características do fundo, assim como a concentração de sedimentos em suspensão. Estes sedimentos podem ser coesivos, não-coesivos, ou a combinação de ambos. O computo do transporte envolve desde a região fora da arrebentação, e a zona de surfe, estimando volumes transportados pelas correntes de deriva e fazendo o balanço em células litorâneas de interesse. A evolução da linha de costa é calculada e apresentada em mapas para diferentes atuações das forçantes hidrodinâmicas (épocas do ano, ressacas) bem como para diferentes cenários de recuperação da praia. O modelo hidrodinâmico será calibrado com dados de ondas, maré e correntes medidos na região. Necessitando, portanto, destes levantamentos, assim como da batimetria da região e vizinhança e dos levantamentos de perfis de praia e análises granulométricas.

A modelagem computacional, juntamente com os dados secundários e primários, poderá caracterizar de maneira mais embasada os principais agentes de movimentação de sedimentos nas praias. Com a combinação das características das ondas: alturas, períodos e direções predominantes (incluindo direção de pico); as direções de maior penetração de frente de onda, as direções de maior energia, as condições de onda ao largo e seu comportamento em água rasa (refração) em função dos acidentes geográficos atualmente existentes (emersos e submersos) e da estrutura proposta pelas obras complementares (engordamento da praia, área de dragagem e manutenção e/ou ampliação do enrocamento, entre outras) serão indicadas e simuladas pela modelagem matemática. Concomitante às ondas, o nível do mar é fator importante para o estudo de erosão costeira, portanto serão considerados os efeitos gerados pelos ventos e na sobreelevação do nível médio do mar. Baseado em malhas numéricas que descrevem os contornos em terra e a batimetria da região modelada (extraída da combinação de cartas náuticas para águas profundas juntamente com a batimetria a ser levantada) as modelagens de propagação de ondas, de circulação hidrodinâmica e de transporte de sedimentos poderão fornecer maiores informações a respeito da caracterização destes fenômenos.

As modelagens hidrodinâmicas e de transporte de sedimentos considerarão tanto o cenário atual quanto aqueles referentes às alternativas estudadas. Assim as simulações identificarão e poderão verificar a própria estabilidade e eficácia das intervenções propostas. As modelagens também fornecerão a configuração da praia em equilíbrio, em planta e em perfil para as alternativas consideradas, sendo estas estruturais ou não, ou ainda a combinação de ambas.



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

Serão consideradas condições normais de mar cotidiano, além de: ressacas, períodos de inverno e verão, a atuação das marés de sizígia e quadratura, com seus respectivos momentos de preamar e baixamar, enchente e vazante, e da sobreelevação de nível do mar, citada anteriormente. Será possível avaliar o padrão do transporte litorâneo, assim como as consequentes mudanças na linha de costa, identificando locais de erosão e progradação.

O modelo deverá ser calibrado com os dados primários obtidos nos estudos preliminares.

Os cenários e resultados de cada alternativa, obtidos das modelagens hidrodinâmicas e morfodinâmica serão apresentados, bem como comparando e detalhando as informações quanto à sua implantação, funcionalidade, impactos ambientais, custos estimados, prazos, eficiência, espaço físico disponível e manutenção, sem descartar qualquer proposição, relacionando e evidenciando as vantagens e desvantagens de cada uma.

Todos os resultados serão apresentados em forma de gráficos e mapas de cenários, devidamente descritos e interpretados no Relatório. Serão apresentadas a metodologia, as equações e os modelos utilizados, além de análises estatísticas, quando aplicadas.

Com base nos dados coletados e nas previsões dos cenários obtidos pelas modelagens será feita uma seleção de propostas de alternativas técnicas que será apresentada e discutida em Workshop, a ser organizado pela CONTRATADA, com a comunidade técnica-científica, com os técnicos da PMN e da CONTRATADA a fim de ouvir os principais atores e suas considerações para auxílio na tomada de decisão e definição da alternativa técnica mais adequada para a recuperação e proteção da Praia de Piratininga. O local onde ocorrerá o Workshop deverá ser definido e fornecido pela CONTRATANTE.

Por fim, o relatório deverá conter a descrição do workshop e a apresentação da solução escolhida, o que deverá ocorrer mediante conhecimento teórico e análise dos cenários de acordo com cada ação, de modo que essa proposição represente melhor viabilidade técnica, ambiental e econômica. Com isso, selecionando a alternativa mais adequada para o sistema, comparando-se o custo e a eficiência da obra com os seus benefícios.



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

## 2.3. Elaboração de Relatório Técnico

O Relatório Técnico deverá ser elaborado em duas partes, sendo a primeira um Diagnóstico Hidrossedimentar da Praia de Piratininga, baseado nos dados primários e secundários e nos resultados obtidos da modelagem; e a segunda parte a Proposição de Alternativas para a estabilização da Praia de Piratininga, onde serão consideradas as estruturas mais apropriadas de acordo com os estudos especializados e as melhores práticas correntes no Brasil e no Mundo.

O Relatório Técnico será apresentado e discutido em um workshop a ser realizado nesta fase, com a sociedade civil e comunidade técnica-científica, além da equipe técnica da PMN e da CONTRATADA, de modo que todos os interessados sejam ouvidos e participem da escolha da melhor alternativa.

## 2.4. Elaboração do Projeto Básico de engenharia da Alternativa Selecionada

Após a definição da alternativa técnica a ser implementada na Praia de Piratininga, deverá ser elaborado o Projeto Básico necessário à intervenção costeira para a recuperação daquela faixa costeira, que irá conter:

- detalhamento preliminar das estruturas da obra;
- definição preliminar de volumes e quantidades dos materiais a serem utilizados para a construção das obras;
- planilha de serviços, e respectivo orçamento preliminar das obras considerando planilha EMOP, bem como memorial descritivo, segundo as normas técnicas vigentes aplicáveis às obras em questão, e de acordo com o princípio da economicidade;
- definição dos elementos geométricos, no caso de projeto de aterro hidráulico, ou seja, tipo e quantidade de sedimentos, as inclinações dos perfis de regeneração e os volumes de regeneração;



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

- caso seja definido pela alternativa de engordamento artificial da praia, deverá ser considerada o estudo de arquitetura de praia;
- elaboração de Projeto de Dragagem, no caso da utilização de jazidas marinhas, com a definição do modelo geral da área a ser dragada e a definição dos critérios para o cálculo dos volumes a serem dragados;
- estimativa da vida útil e plano de manutenção do aterro e/ou das estruturas de contenção ou proteção;
- especificações técnicas, memorial descritivo e justificativa, bem como a respectiva planilha de quantitativos e orçamentos;
- definição de cronograma preliminar de execução das obras considerando as normas técnicas, ambientais e de segurança vigentes;



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

## 2.5. Cronograma de Execução e Desembolso

O prazo proposto para o trabalho é de 8 meses. Nesta proposta de trabalho está se antecipando parcialmente o item *Relatório Técnico com Diagnóstico Hidrossedimentar e Proposição de Alternativas para estabilização da praia de Piratininga*. Desta forma, será possível dialogar melhor com a comunidade técnica-científica e com os técnicos da PMN para dar tempo hábil de modificações no projeto básico. A **Figura 10** mostra o cronograma físico proposto. Já a **Figura 11** apresenta o novo cronograma físico-financeiro e de desembolso.

Os seguintes conteúdos estão previstos para cada relatório:

- R1 – Plano de Trabalho;
- R2 – Relatório de acompanhamento com a 1ª campanha de topografia de praia, e batimetria de praia;
- R3 – Relatório de acompanhamento com a Caracterização sedimentológica da praia de Piratininga, Morfodinâmica da praia e Relatório de acompanhamento de caracterização climática (1º mês);
- R4 – Relatório de acompanhamento de caracterização climática (2º mês)
- R5 – Relatório de acompanhamento de caracterização climática (3º mês) e relatório de modelagem hidrodinâmica e morfodinâmica (1ª fase);
- R6 – Relatório de acompanhamento de caracterização climática (4º mês) e Relatório Técnico com Diagnóstico Hidrossedimentar e Proposição de Alternativas para estabilização da praia de Piratininga (1ª fase) e relatório do Workshop;
- R7 – Relatório de acompanhamento de caracterização climática (5º mês);
- RT – Relatório Técnico – contendo: Estudos Investigativos Preliminares, diagnóstico hidrossedimentar da praia de Piratininga e Proposição de Alternativas para estabilização da praia de Piratininga;
- PB - Projeto Básico de Engenharia da alternativa selecionada.



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

**Figura 10: Cronograma Físico.**



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br

| ESTUDOS/PRODUTOS | MESES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | dez/18 | | jan/19 | | fev/19 | | mar/19 | | abr/19 | | mai/19 | | jun/19 | | jul/19 | | ago/19 | |
| Plano de Trabalho | 5.33% | 40,000.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Topografia de praia e transporte litorâneo de sedimentos | 7.28% | 54,600.00 | | | | | | | | | | | 7.28% | 54,600.00 | | | | |
| Batimetria da praia de Piratininga | 8.67% | 65,000.00 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterização sedimentológica da praia de Piratininga - análise granulométrica de face praial | | | 24.44% | 183,300.00 | | | | | | | | | | | | | | |
| Morfodinâmica da praia | | | 4.80% | 36,000.00 | | | | | | | | | 4.80% | 36,000.00 | | | | |
| Caracterização climática | | | 0.47% | 3,500.00 | 0.47% | 3,500.00 | 0.47% | 3,500.00 | 0.47% | 3,500.00 | 0.47% | 3,500.00 | 0.47% | 3,500.00 | | | | |
| Simulações a partir de modelagem hidrodinâmica e morfodinâmica | | | | | | | 4.67% | 35,000.00 | | | | | 4.67% | 35,000.00 | | | | |
| Relatório Técnico com Diagnóstico Hidrossedimentar e Proposição de Alternativas para estabilização da praia de Piratininga | | | | | | | | | 3.33% | 25,000.00 | | | 3.33% | 25,000.00 | | | | |
| Workshop | | | | | | | | | 1.53% | 11,500.00 | | | | | | | | |
| Projeto Básico de Engenharia da alternativa selecionada | | | | | | | | | | | | | | | 17.07% | 128,000.00 | | |
| DESEMBOLSO MENSAL (%) | 21.28% | 29.71% | 0.47% | 5.13% | 5.33% | 0.47% | 20.55% | 17.07% | 0.00% |
| DESEMBOLSO MENSAL (R$) | 159,600.00 | 222,800.00 | 3,500.00 | 38,500.00 | 40,000.00 | 3,500.00 | 154,100.00 | 128,000.00 | - |
| DESEMBOLSO ACUMULADO (R$) | 21.28% | 50.99% | 51.45% | 56.59% | 61.92% | 62.39% | 82.93% | 100.00% | 100.00% |
| DESEMBOLSO ACUMULADO (R$) | 159,600.00 | 382,400.00 | 385,900.00 | 424,400.00 | 464,400.00 | 467,900.00 | 622,000.00 | 750,000.00 | 750,000.00 |

**Figura 11: Cronograma Físico-Financeiro e de Desembolso.**



Travessa do Paço, 23, salas 605 e 606, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20010-170 – Tel/Fax: (21)2516-4545
Email: aqua@aquamodelo.com.br - www.aquamodelo.com.br