



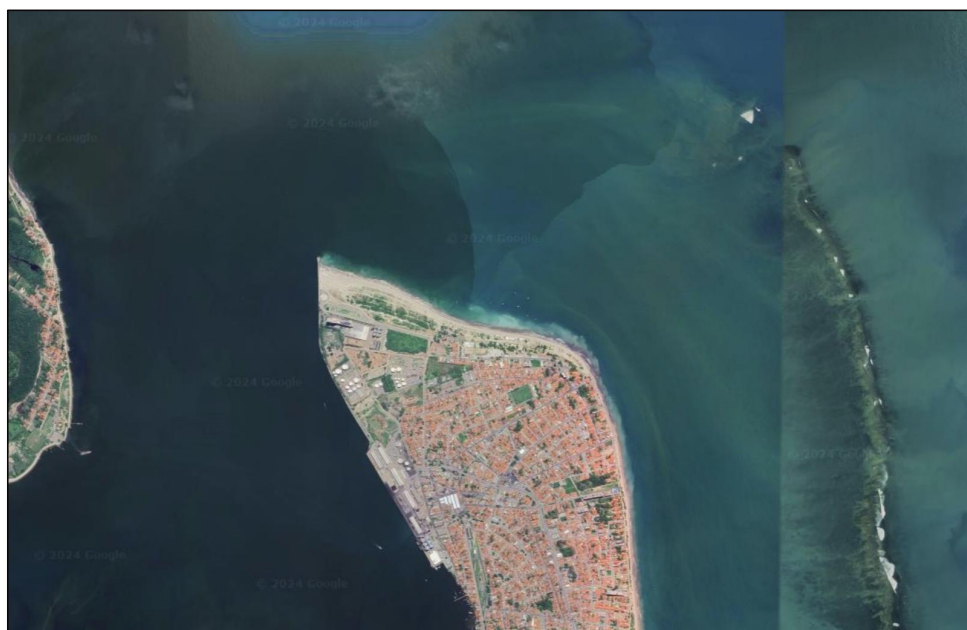
MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT
Diretoria de Planejamento e Pesquisa - DPP
Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - INPH



INPH: 009 / 2025 – REVISÃO 3

CÓDIGO: 900/05

**ANTEPROJETO DO PROLONGAMENTO DO MOLHE DE
ABRIGO DO PORTO DE CABEDELO - PB**



SETEMBRO / 2025

Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - INPH
Rua General Gurjão, 166 - Caju - Rio de Janeiro - RJ - 20931-040



Assinado com senha por [DOC13672] [SENHA] RICARDO LOUREIRO FREIRE DE LUCENA em 18/06/2026 - 12:04hs.
Documento Nº: 11452016.96424590-9999 - consulta à autenticidade em
<https://pbdoc.pb.gov.br/sigaex/public/app/autenticar?n=11452016.96424590-9999>



DOCOFN202600602A

EQUIPE TÉCNICA

Coordenação Geral

Eng° Domenico Accetta – Coordenador Geral do INPH

Eng° Antonio Paulo dos Santos Pinto – Coordenador de Desenvolvimento Técnico do INPH

Equipe técnica

Domenico Accetta – Responsável Técnico

Jesueliton Leis Ribeiro - Oceanógrafo

Roberta Moreno – Geóloga

Ricardo Pacheco – Gestor ambiental



Sumário

1. INTRODUÇÃO	5
2. MODELO MATEMÁTICO DE ONDAS	9
2.1 Batimetria	9
2.2 Ondas Oceânicas	15
2.3 Ventos	18
3. CALIBRAÇÃO	20
4. ONDAS COSTEIRAS	23
5. Onda de Projeto	28
6. ANTEPROJETO DO PROLONGAMENTO DO MOLHE	29
6.1 Análise dos Condicionantes Físicos	29
6.1.1. Topohidrografia	29
6.1.2. Nível D'água	29
6.1.3. Ondas	29
7. CÁLCULO ESTRUTURAL DO ENROCAMENTO DE PROLONGAMENTO DO MOLHE	30
7.1 Concepção Estrutural	30
7.2 Formulação	30
7.2.1. Peso unitário dos blocos da carapaça através da fórmula de Hudson	30
7.2.2. Peso unitário dos blocos da sub-carapaça	31
7.2.3. Espessuras da carapaça e da sub-carapaça	31
7.2.4. Largura da Crista	32
7.3 Dimensionamento	32
7.4 Volumes de Enrocamento	33
8. Desenhos	34
9. METODOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO DO ENROCAMENTO	36
9.1 Pedreira	36
9.2 Características Gerais da Rocha	37
9.3 Ensaio a Serem Realizados	38
9.3.1. Ensaio Geotécnicos	38
9.3.2. Ensaio para Controle Tecnológico do Material	38
9.4 Descarga no "Pulmão"	39
9.5 Arrumação do Talude	39
9.6 Arrumação de Blocos	39
9.7 Transporte Terrestre	39
9.8 Equipamentos	39
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
11. Referências bibliográficas	42



12. ANEXOS.....	43
------------------------	-----------



1. INTRODUÇÃO

Um assoreamento vem ocorrendo junto ao molhe que protege a entrada do canal de acesso ao Porto de Cabedelo-PB.

Diante disso, o Porto busca alternativas para evitar que o material assoreado caminhe para o canal de acesso recém dragado.

Mantidas as atuais condições hidráulico-sedimentológicas e, ainda, a depender da execução de estudos complementares, específicos ao problema em tela, infere-se que uma alternativa possível seria a ampliação do molhe existente em mais 100m, estimando-se que tal obra teria a capacidade de proteger o canal do avanço do assoreamento.

Esse trabalho tem o objetivo de qualificar uma onda de projeto para o local da futura obra, como também apresentar uma seção transversal tipo baseado na onda de projeto para 100 anos de recorrência.

Na extremidade ao Norte do cais foi construído um molhe de abrigo de 1050 metros de extensão. A Figura 1.1 ilustra a área descoberta de sedimentos ao longo do molhe de abrigo. A Figura 1.2 apresenta a evolução da linha de costa desde 1966 até a posição atual.





Figura 1-1: Imagem carta náutica 1973. A seta indica a área descoberta de sedimentos ao longo do molhe de abrigo (Fonte: INPH).



Figura 1-2: Evolução da linha de costa de 1966 até 2022. A área hachurada representa o acréscimo de sedimentos ao longo dos anos.



As Figuras 1-3 e 1-4 apresentam as comparações entre as linhas de costa de outubro de 2005 e novembro de 2022, nas proximidades do molhe de abrigo. Observa-se um aumento da faixa de areia e um adensamento das construções nessa faixa. A Figura 1-5 apresenta um acréscimo da faixa de areia no ano de 2022.



Figura 1-3: Estudo da linha de costa entre os anos de 2005 e 2022.

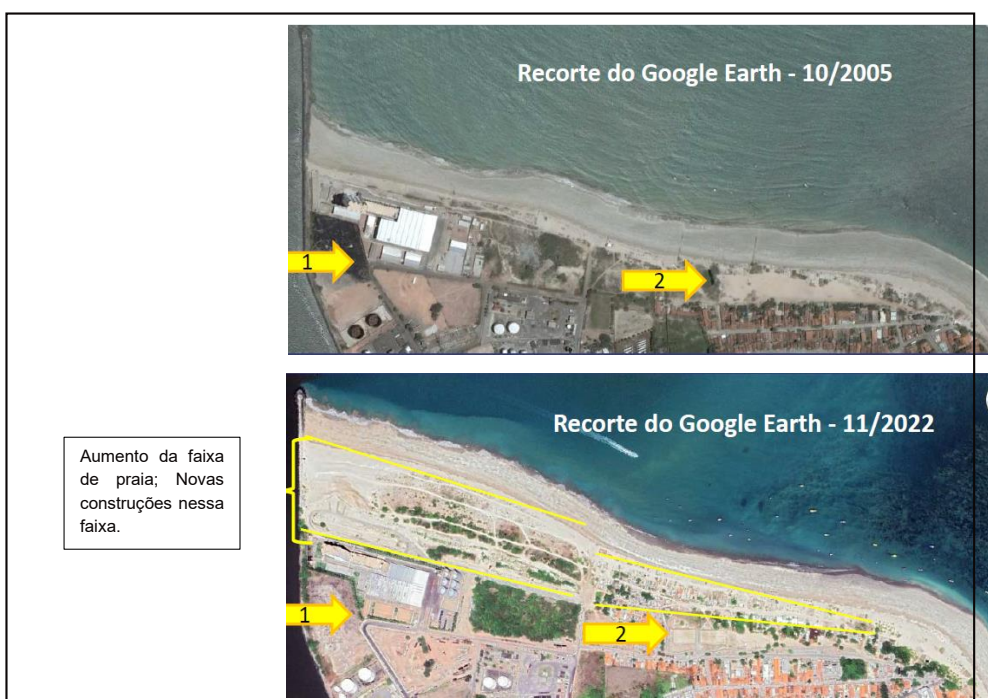


Figura 1-4: Comparação da linha de costa entre os anos de 2005 e 2022. As setas 1 e 2 indicam dois pontos de referência para ilustrar o aumento da faixa de praia entre os anos estudados.





Figura 1-5: Vista da região em 2022 (Fonte: Google Earth).



2. MODELO MATEMÁTICO DE ONDAS

A partir do software de modelagem matemática de ondas MIKE 21 SW, realizou-se a propagação de ondas de toda a série temporal de 5 anos de dados desde as profundidades de 3000m até a costa do estado da Paraíba-PB.

O modelo MIKE 21 SW é um modelo espectral que resolve a propagação das ondas no domínio da frequência, sendo capaz de calcular todos os principais fenômenos físicos de transformação de ondas em águas rasas, incluindo refração, empinamento, difração e reflexão, e ainda, é capaz de calcular ao mesmo tempo a geração de ondas pela ação dos ventos. O modelo é capaz de incluir termos de perda de energia pelo atrito com o fundo, por *whitecapping* e interações onda-onda.

Como condições de contorno, são incluídos dados de batimetria, ondas na região oceânica e ventos atuando uniformemente sobre todo o domínio do modelo.

2.1 Batimetria

As informações batimétricas foram obtidas através da digitalização das Cartas Náuticas DHN 22100 e 830 (figuras 2-1 e 2-2). As profundidades presentes nos pontos e isolinhas foram incluídas no modelo matemático e interpolados entre os elementos numéricos da malha.

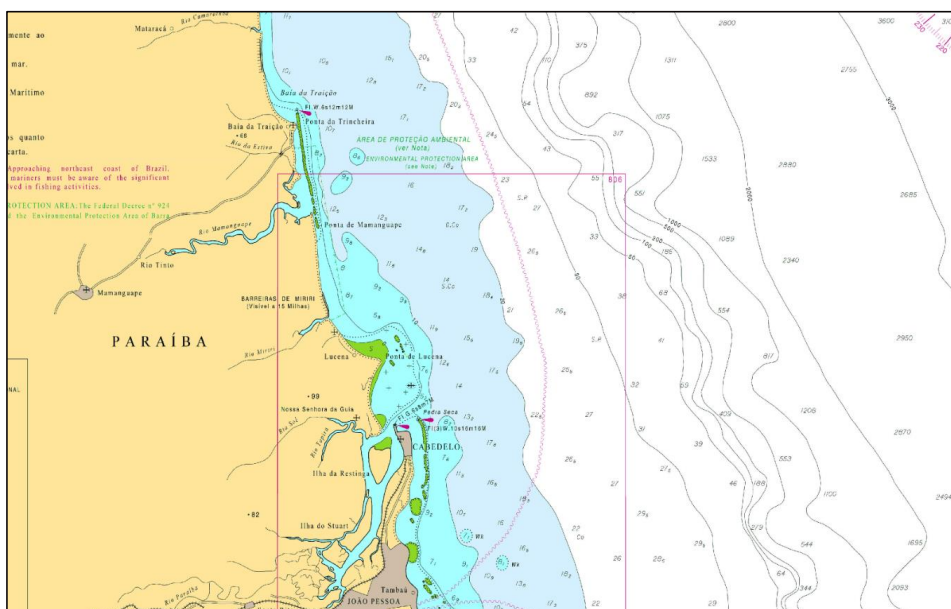


Figura 2-1. Carta Náutica DHN 22100.



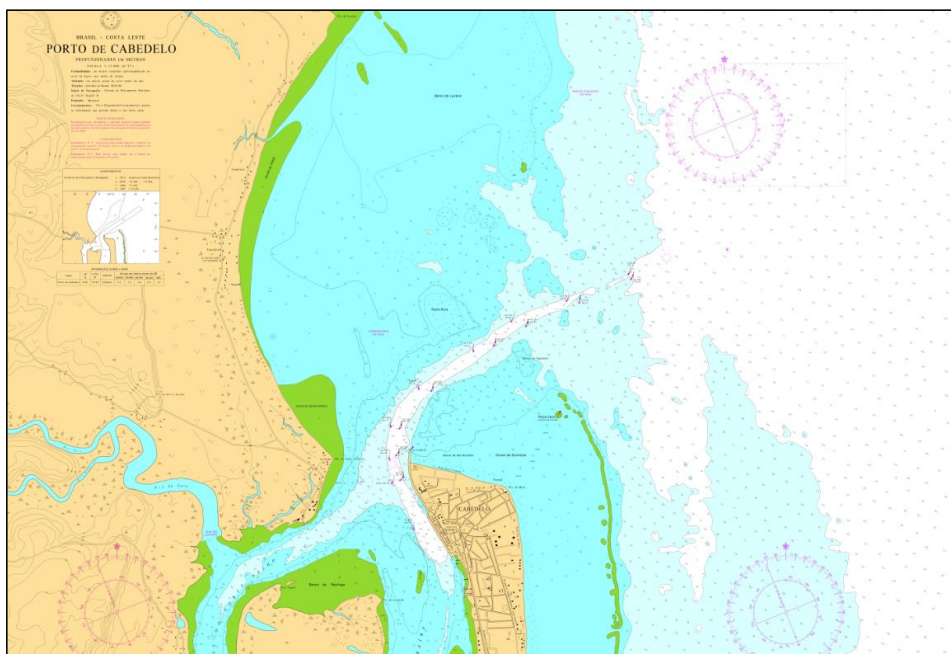


Figura 2-2. Carta Náutica DHN 830.

A malha numérica flexível empregada no estudo permite resolução espacial bem refinada nas áreas de maior importância, conforme observado nas figuras 2-3 e 2-4.



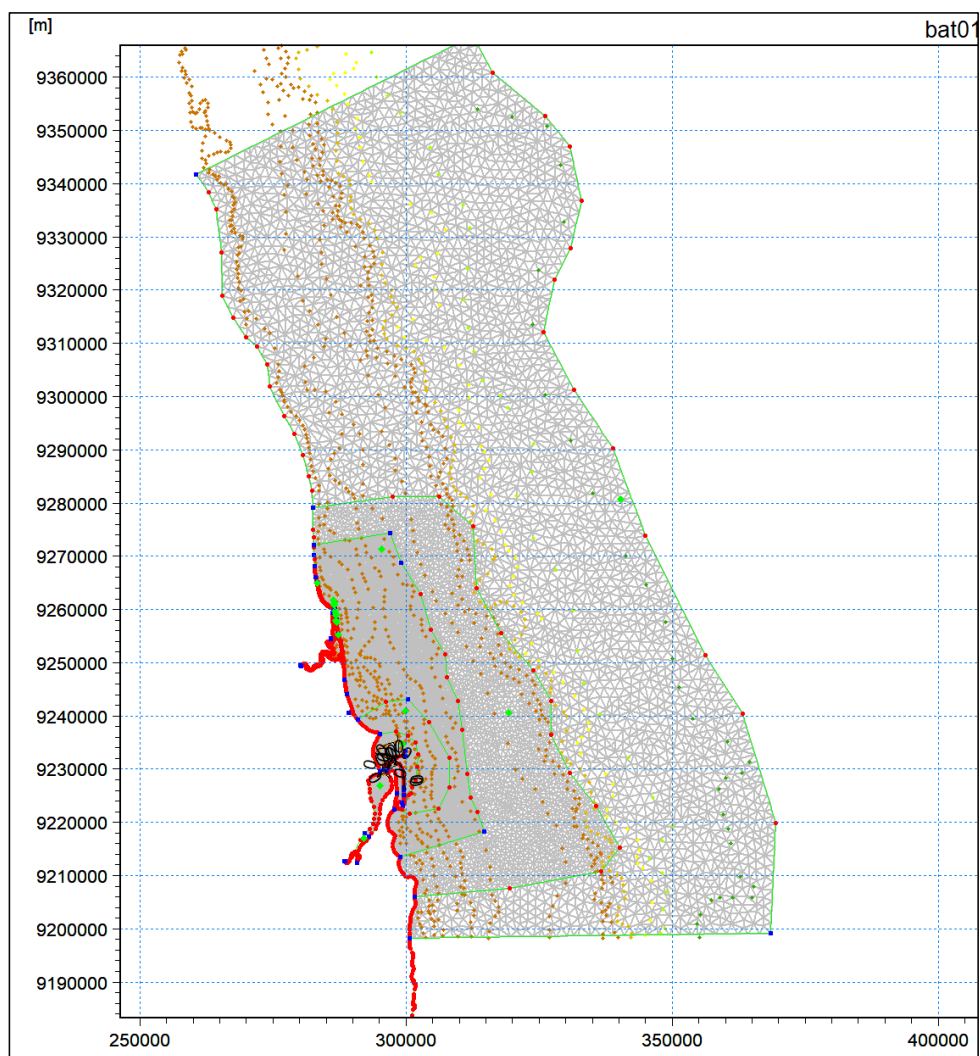


Figura 2-3. Domínio de modelagem e malha numérica.



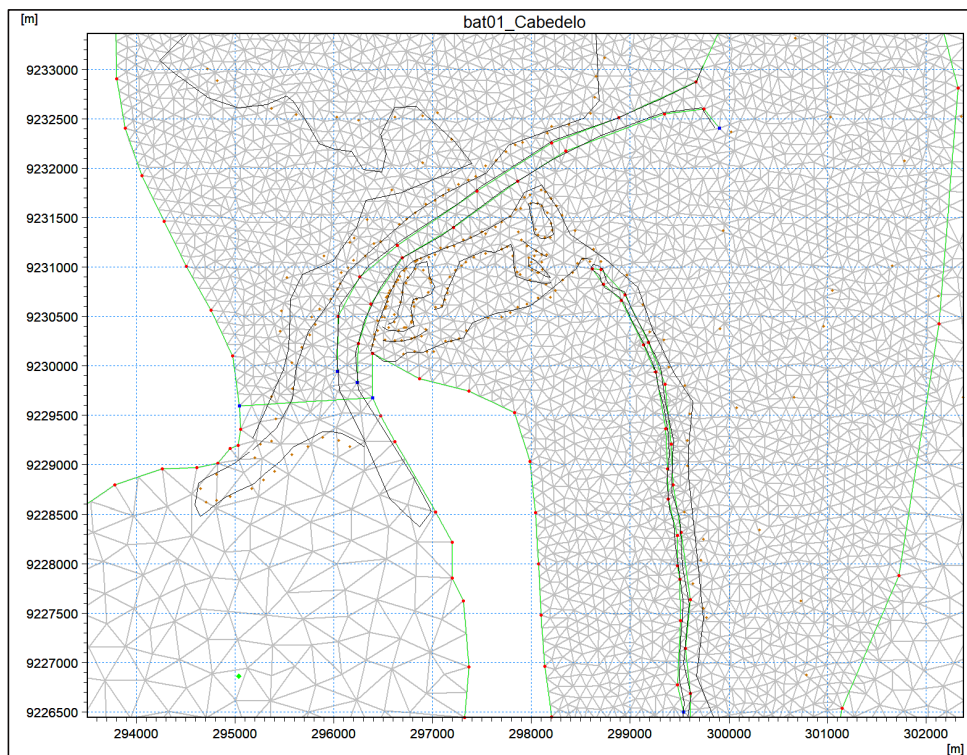


Figura 2-4. Detalhe da malha numérica na área de estudo.

A partir da interpolação dos valores, obtivemos a batimetria presente nas Figura 2-5 e 2-6.



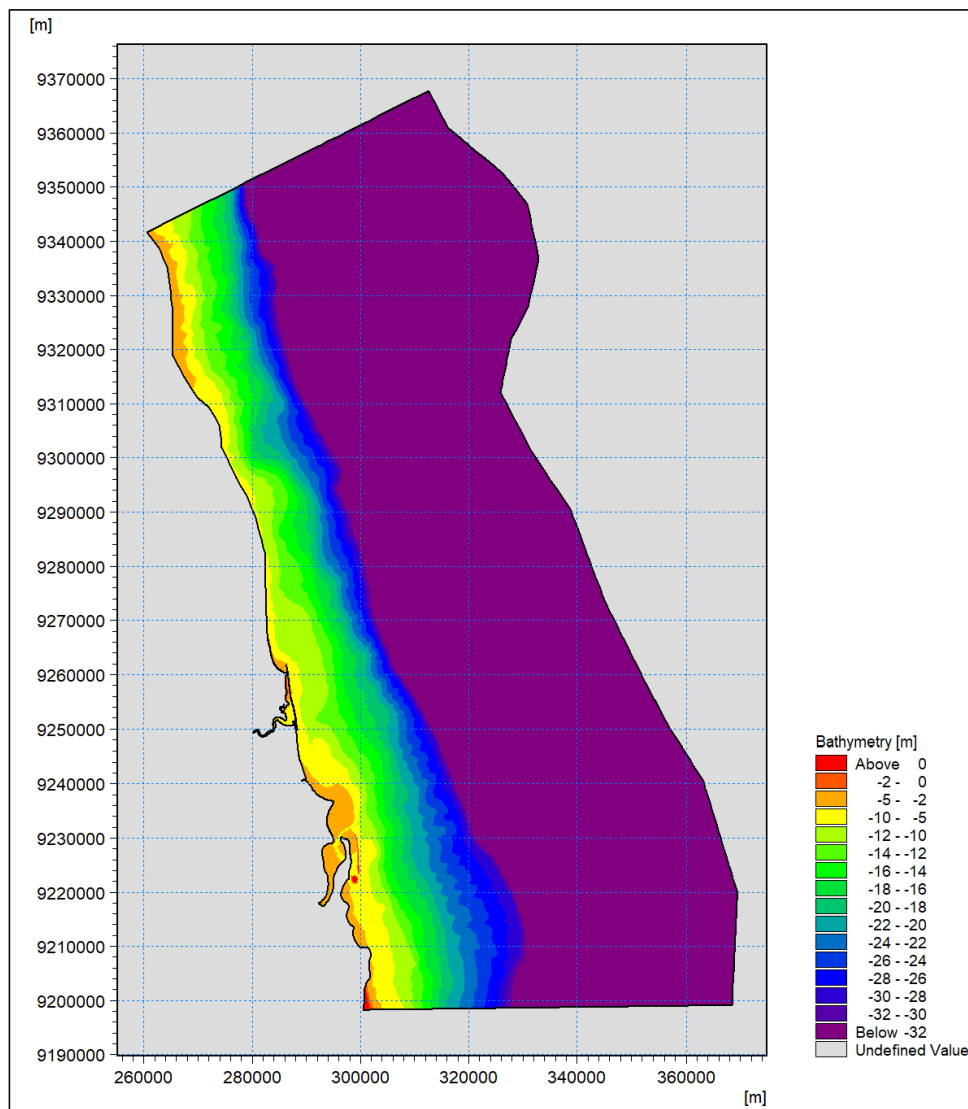


Figura 2-5. Batimetria do modelo.



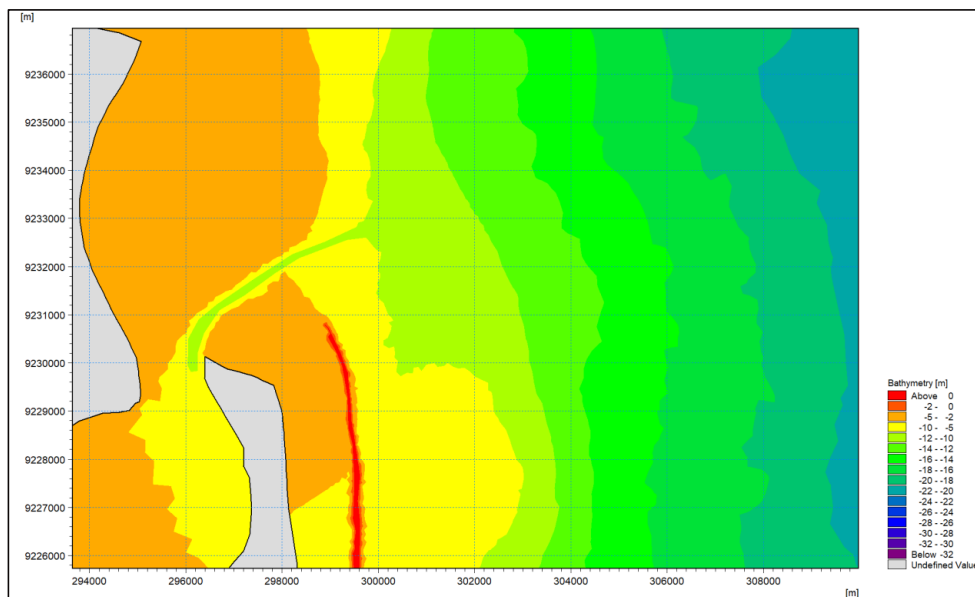


Figura 2-6. Batimetria do modelo em detalhe.

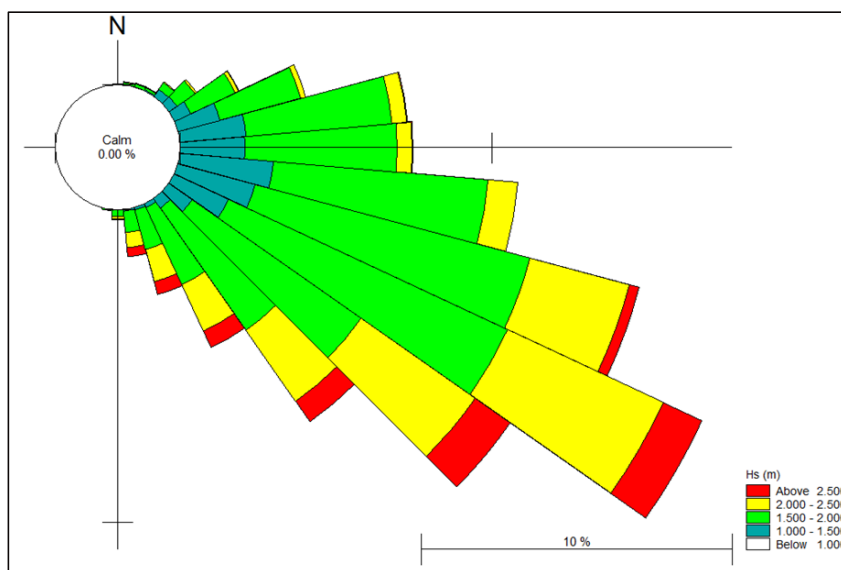


2.2 Ondas Oceânicas

O agente físico de maior energia nas regiões costeiras são as ondas, sendo assim, seu conhecimento histórico e a possibilidade de prever suas características futuras é primordial em qualquer projeto de engenharia costeira.

Uma análise estatística de ondas nas proximidades de Cabedelo foi realizada através da modelagem matemática de ondas oceânicas se propagando desde profundidades de -3000m até a região costeira. Para isso, foram utilizados, como condição de contorno do modelo, uma série de 10 anos de dados de ondas no meio do Oceano Atlântico, obtidos através de reanálises de dados históricos de ventos e pressão atmosférica, pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), cobrindo o período de 2018 a 2022.

As rosas de ondas presentes nas figuras 2-7 e 2-8, para o Atlântico Sul, mostram ondas com direções variando de NE a S, alcançando Hs de até 3.0m e período de até 18s.



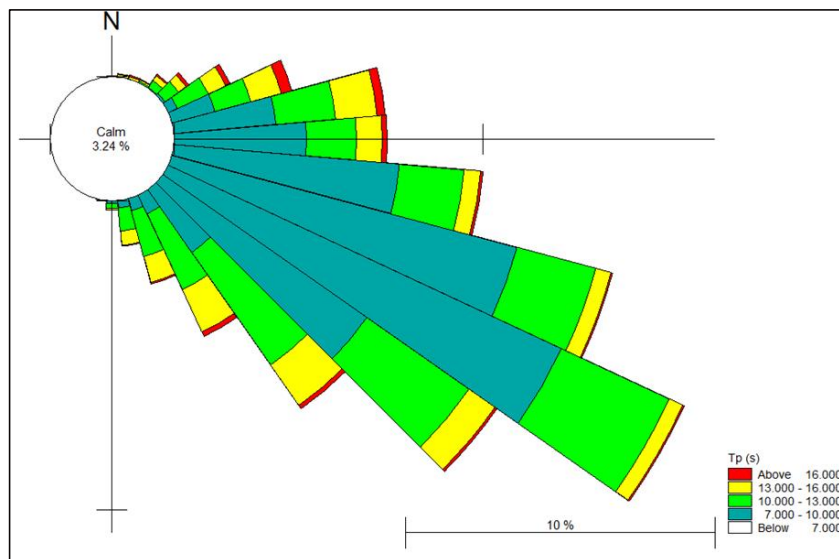


Figura 2-8. Rosa de onda de Tp para a região offshore, de 2018 a 2022.

As figuras 2-9 a 2-11 mostram as séries temporais de Hs, Tp e Direção de onda, respectivamente, para os anos de 2020 a 2022. Observa-se uma variação anual nas alturas de ondas, com os maiores valores ocorrendo de junho a agosto, com direções variando de Nordeste a Sul. A maior frequência é de ondas de Sudeste e de Leste.

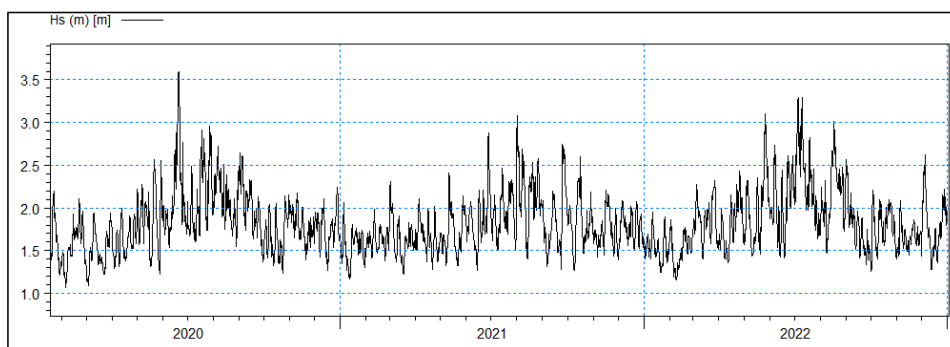


Figura 2-09. Dados de ondas oceânicas (Hs), entre 2020 a 2022.



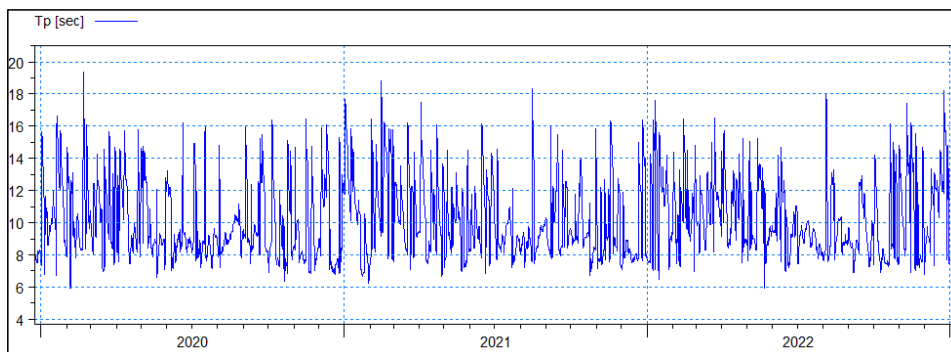


Figura 2-10. Dados de ondas oceânicas (Tp), entre 2020 a 2022.

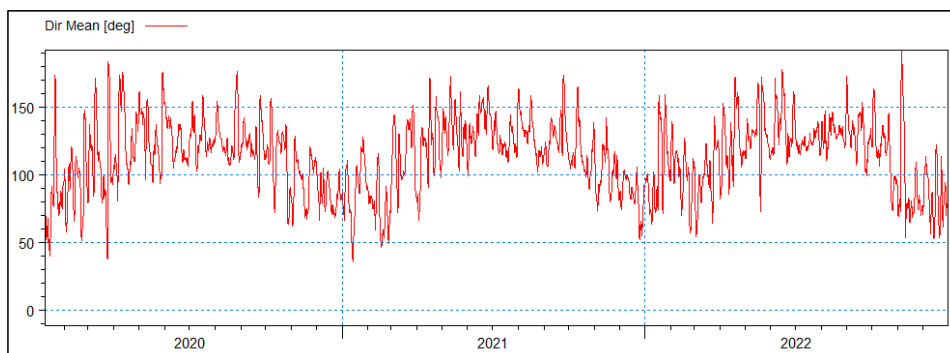


Figura 2-11. Dados de ondas oceânicas (Dir), entre 2020 a 2022.



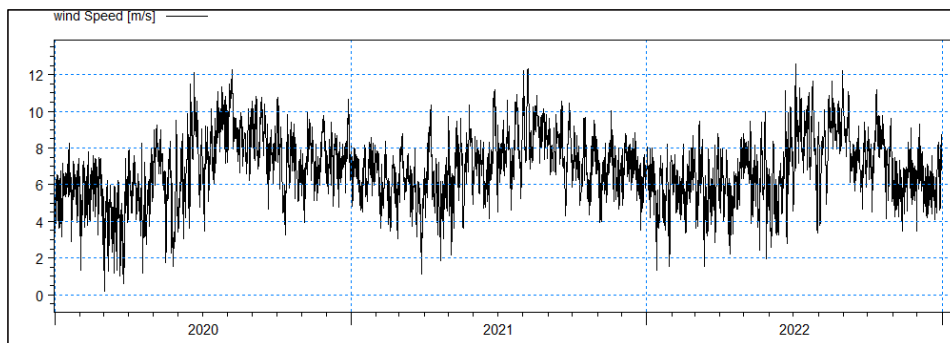


Figura 2-13. Velocidade dos ventos na região offshore do estado da Paraíba-PB entre 2020 a 2022.

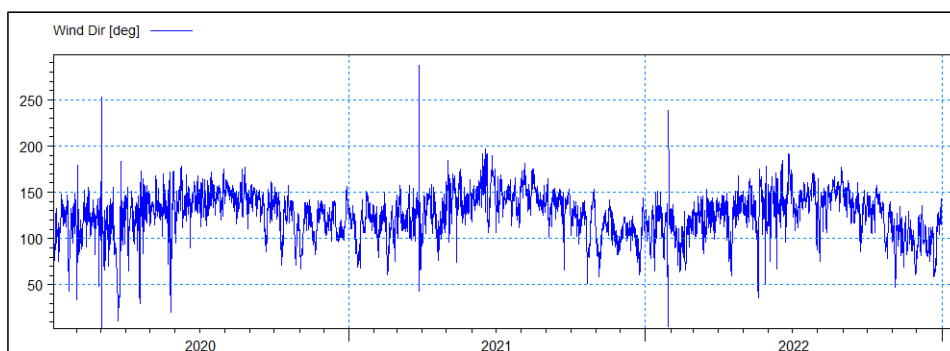


Figura 2-14. Direção dos ventos na região offshore do estado da Paraíba-PB entre 2020 a 2022.



3. CALIBRAÇÃO

Além dos dados de ondas oceânicas de 2018 a 2022 utilizados nas análises de ondas, no mesmo ponto de extração, também foram obtidos os dados oceânicos de 2001 do ECMWF para auxiliar na calibração do modelo matemático.

Para a calibração, os dados do modelo matemático foram comparados com os dados de ondas medidos pelo INPH em 2001, durante 30 dias, próximo à ponta de Cabo Branco, nas coordenadas Lat. 07°09,029' S; Long. 34° 46,117' W, sendo os parâmetros do modelo ajustados até que se obtivesse o melhor ajuste das curvas.

A Figura 3.1 mostra o local de medição de ondas, o qual coincide com o ponto de extração de resultados do modelo para fins de comparação, e o local de extração de dados oceânicos, conforme mostrado no Capítulo anterior.

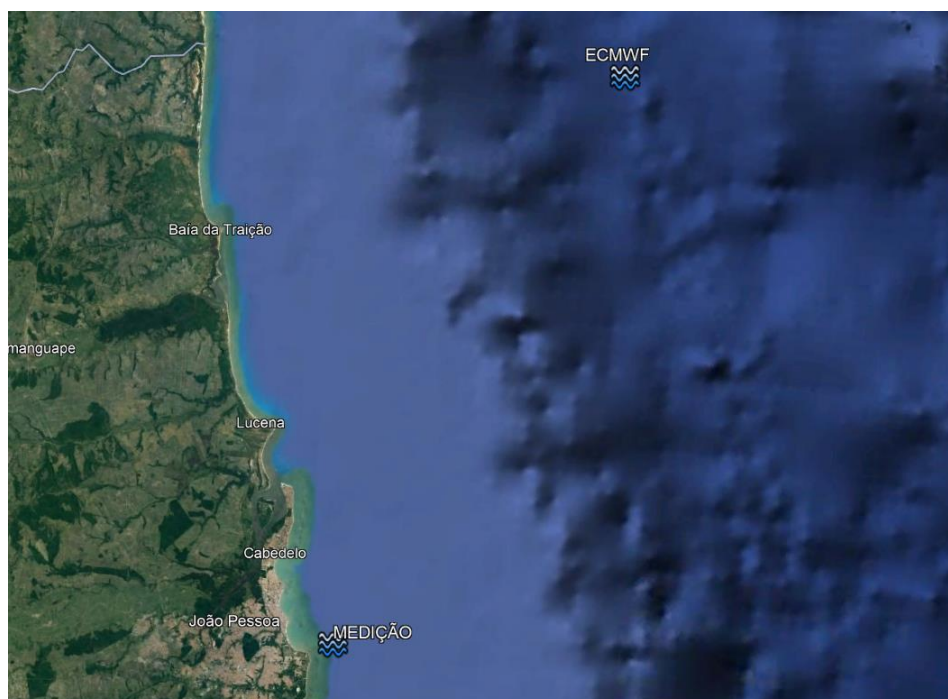


Figura 3-1. Local de medição de ondas e extração de resultados no modelo para calibração.

Os gráficos presentes nas figuras 3.2 a 3.4 mostram comparações entre os dados medidos na natureza e os dados simulados na natureza, respectivamente para Hs, Tp e Direção.



Foram realizadas 20 simulações até que a correlação entre os dados fossem julgados satisfatórios. A partir da boa comparação dos resultados com os dados medidos, considerou-se o modelo calibrado e pronto para ser utilizado para os demais períodos.

Importante ressaltar que o local de calibração é um pouco distante do local do projeto. A melhor opção seria a realização de uma medição de ondas nas proximidades do local, a fim de checar novamente a calibração do modelo, durante a elaboração do Projeto Básico da obra.

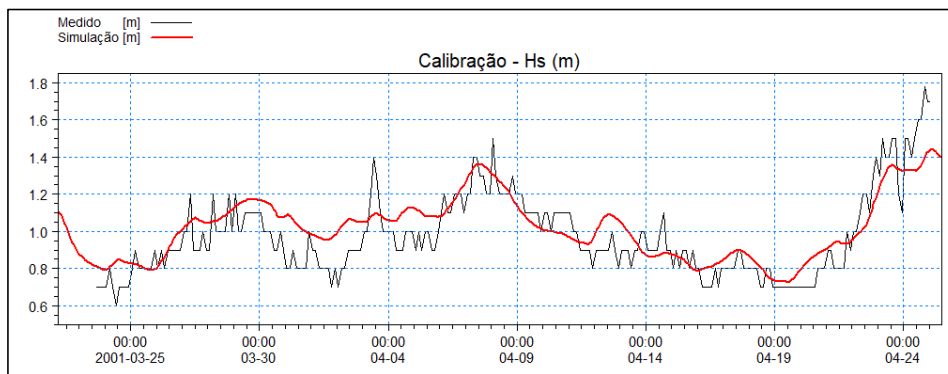


Figura 3-2. Comparação de Hs (m) medida e simulada.

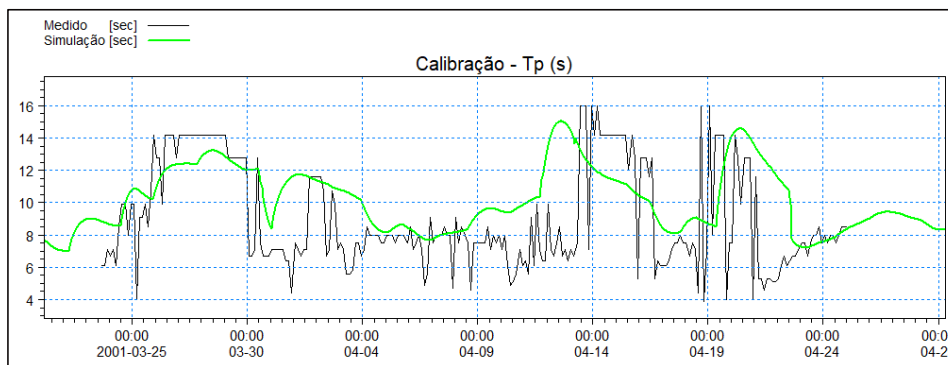


Figura 3-3. Comparação de Tp (s) medido e simulado.



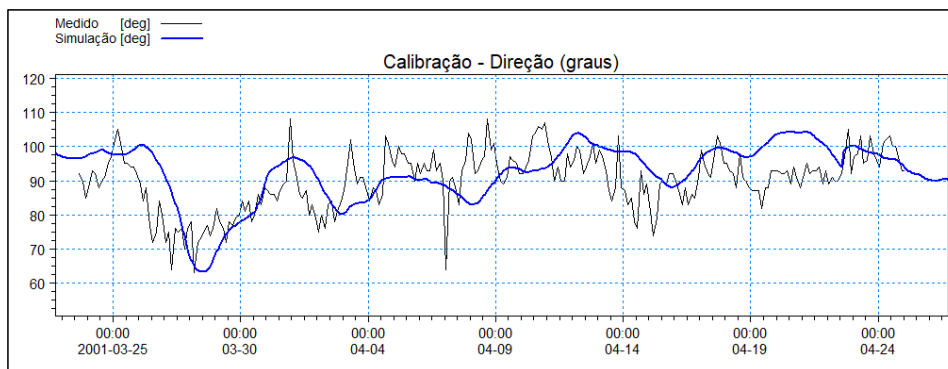


Figura 3-4. Comparação de Direção (graus) medida e simulada.



4. ONDAS COSTEIRAS

Através do modelo matemático de Ondas MIKE 21, propagou-se toda a série temporal de 2018 a 2022, desde a fronteira oceânica até o local do projeto.

As Figuras 4-1 e 4-2 mostram exemplos de propagação de ondas vindas de ENE e de SE, respectivamente.

Para ambas as direções observa-se que o lado Oeste do molhe é mais protegido do que o lado Leste. Sendo assim, ainda que a profundidade a Oeste seja maior, as Ondas são menores devido a configuração da batimetria na região.

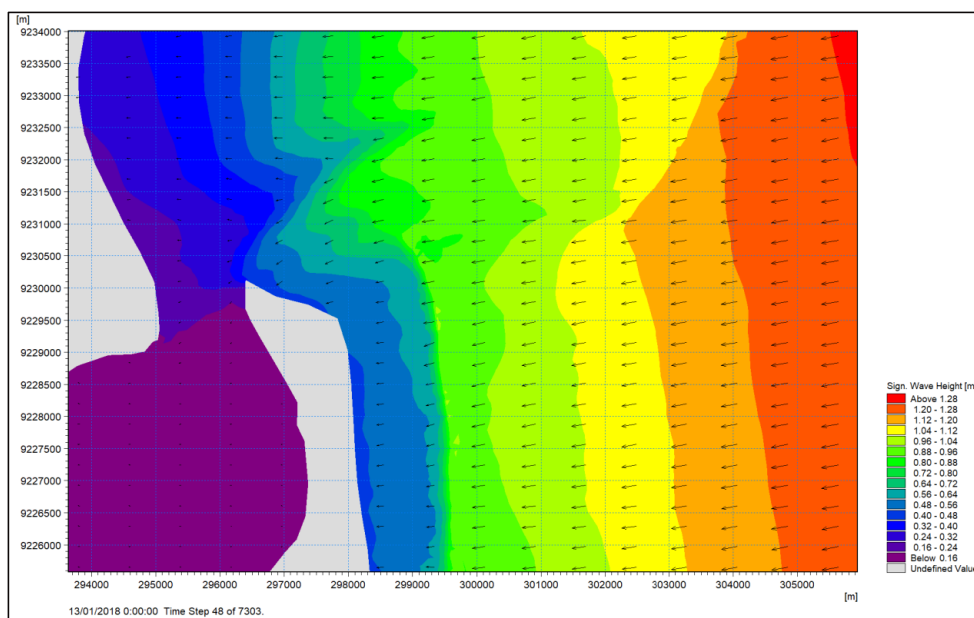


Figura 4-1. Resultado da propagação de ondas de ENE no modelo matemático.



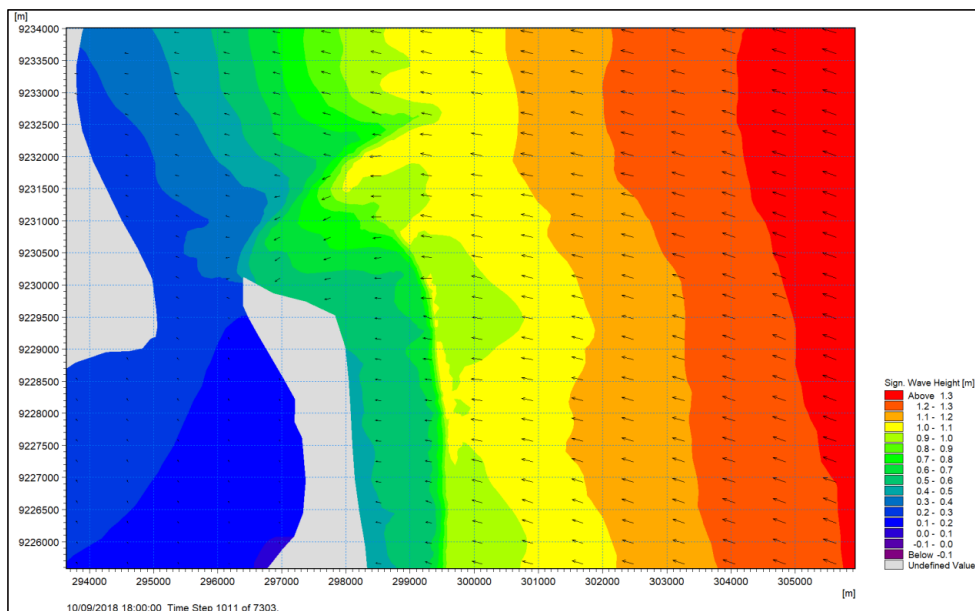


Figura 4-2. Resultado da propagação de ondas de SE no modelo matemático.

A fim de facilitar a comparação dos resultados, as ondas na região costeira foram obtidas na ponta do futuro molhe, conforme localização apresentada na Figura 4-3.



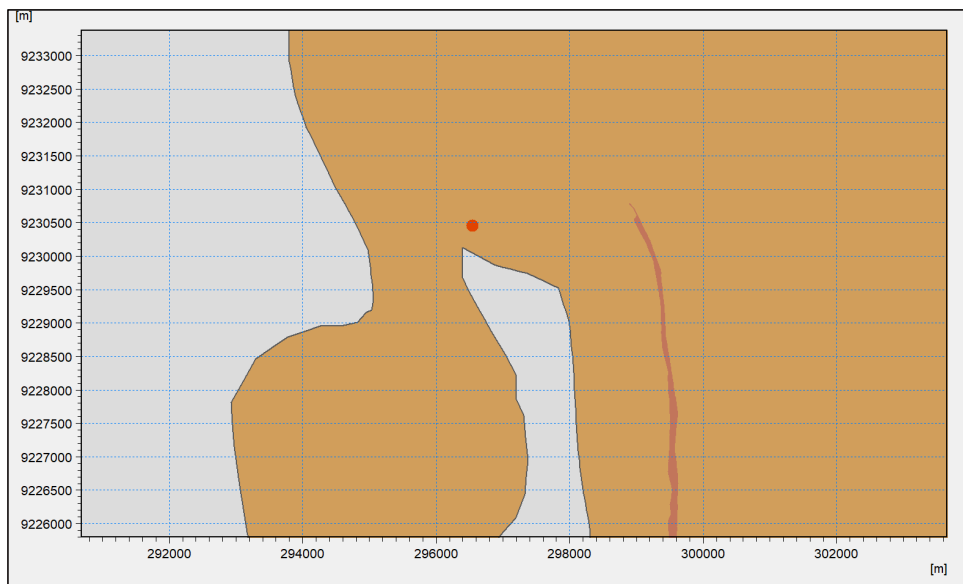


Figura 4-3. Localização dos pontos de análises dos resultados de Ondas (296539 E /9230459 N – UTM 25S).

A Figura 4-4 mostra as rosa de onda de Hs para esse ponto de análise de resultados, assim como a Figura 4-5 mostra a rosa de onda de Tp.



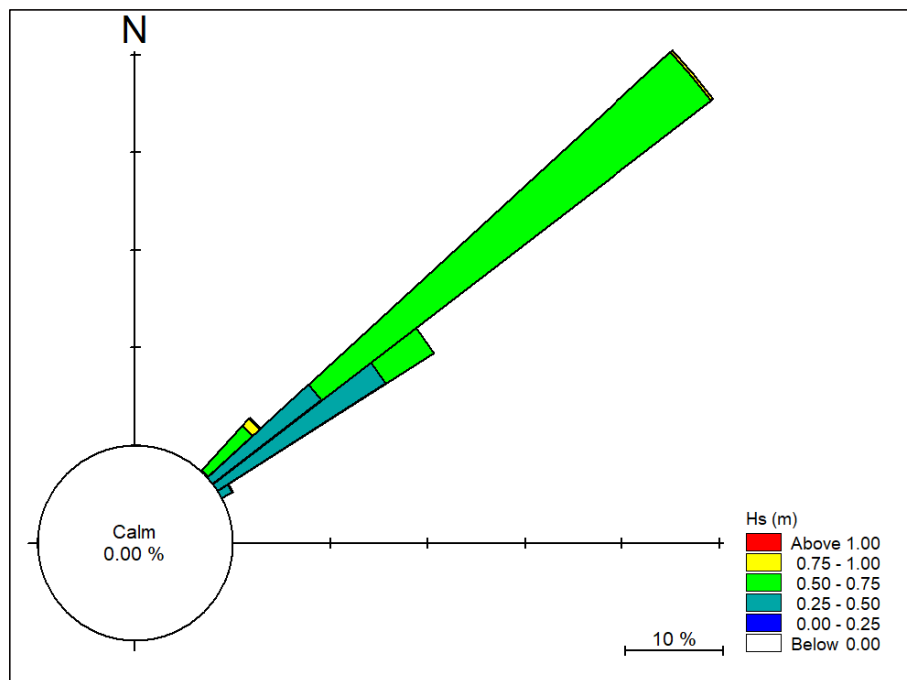


Figura 4-4. Rosa de onda de Hs para o ponto de análise, com resultado da simulação de ondas de 2018 a 2022.



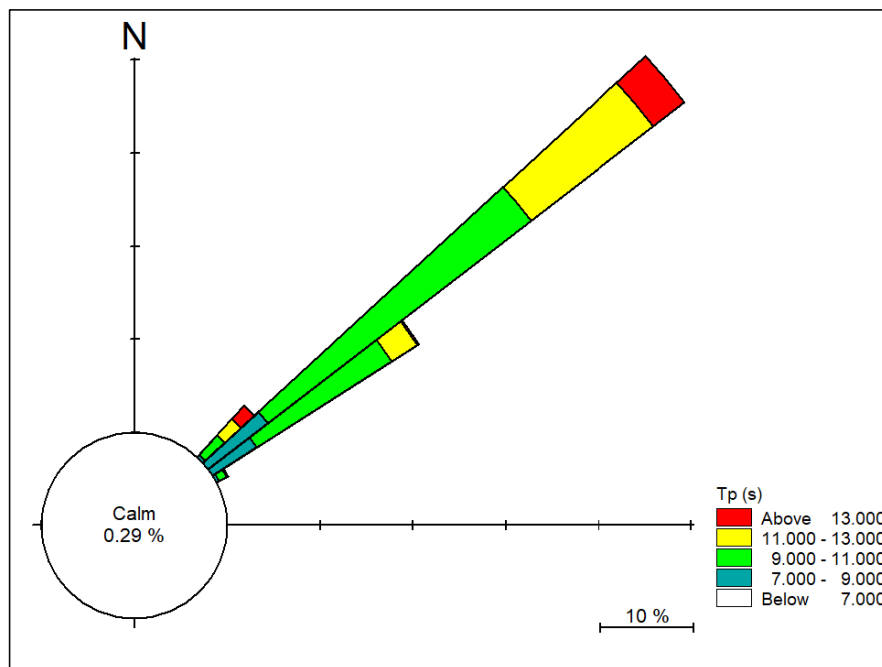


Figura 4-5. Rosa de onda de Tp para o ponto de análise, com resultado da simulação de ondas de 2018 a 2022.



5. ONDA DE PROJETO

Realizou-se um estudo estatístico com todos os dados de H_s simulados para o local da obra, onde diversas distribuições estatísticas foram comparadas com a frequência dos dados medidos de altura de onda. Foram observados os coeficientes de correlação e o desvio de cada distribuição.

A Tabela com a lista de distribuições analisadas e com os resultados está apresentada abaixo (Tabela 5.1).

Tabela 5.1. Cálculo da onda de projeto.

PERÍODO DE RETORNO			1 ANO	10 ANOS	30 ANOS	50 ANOS	100 ANOS
DISTRIBUIÇÃO	CORRELAÇÃO	DESVIO	ALTURA SIGNIFICATIVA (m)				
GUMBEL	0,981	0,036	0,93	1,13	1,23	1,28	1,34
EXPONENCIAL	0,982	0,035	0,93	1,14	1,23	1,28	1,34
WEIBULL (K=1.01)	0,982	0,035	0,93	1,14	1,23	1,28	1,34
WEIBULL (K=0.90)	0,988	0,029	0,93	1,14	1,25	1,30	1,37
WEIBULL (K=1.10)	0,977	0,040	0,94	1,13	1,22	1,26	1,32
WEIBULL (K=1.20)	0,972	0,044	0,94	1,12	1,21	1,25	1,30
WEIBULL (K=1.30)	0,968	0,047	0,94	1,12	1,20	1,24	1,29
WEIBULL (K=1.40)	0,963	0,050	0,94	1,12	1,19	1,23	1,28
WEIBULL (K=1.50)	0,960	0,053	0,94	1,11	1,19	1,22	1,27
WEIBULL (K=1.60)	0,956	0,055	0,94	1,11	1,18	1,22	1,26
WEIBULL (K=1.70)	0,953	0,057	0,94	1,11	1,18	1,21	1,25
WEIBULL (K=1.80)	0,950	0,059	0,94	1,10	1,17	1,21	1,25
WEIBULL (K=1.90)	0,948	0,061	0,94	1,10	1,17	1,20	1,24
EXP. QUADRÁTICA	0,942	0,086	0,95	1,11	1,18	1,22	1,26



6. ANTEPROJETO DO PROLONGAMENTO DO MOLHE

Este capítulo trata do dimensionamento, a nível de anteprojeto, do prolongamento do Molhe do porto de Cabedelo na Paraíba, PB.

6.1 Análise dos Condicionantes Físicos

6.1.1. Topohidrografia

A Topohidrografia utilizada no projeto foi a da Carta DHN do Porto de Cabedelo, na escala 1:15.000, com as profundidades referenciadas ao nível médio das baixamares de sizigia, e cujas posições foram referenciadas ao Datum WGS-84.

6.1.2. Nível D'água

O nível d'água máximo considerado foi de 2,4m que corresponde aproximadamente a variação do nível de maré máxima do local.

6.1.3. Ondas

Foram realizados estudos de propagação de ondas a fim de se obter a onda de projeto para o presente trabalho.

Observa-se na Tabela 5.1 que as equações que melhor se ajustaram aos dados de ondas, forneceram valores de ondas significativas de 100 anos, abaixo de 1,40m. Com base nesses resultados estabeleceu-se $H_s=1,5m$ como a altura significativa da onda centenária para o dimensionamento das estruturas de enrocamento do prolongamento do molhe de abrigo do porto de Cabedelo.



7. CÁLCULO ESTRUTURAL DO ENROCAMENTO DE PROLONGAMENTO DO MOLHE

7.1 Concepção Estrutural

O dimensionamento da estrutura foi realizado adotando-se a concepção tradicional de enrocamento. Os taludes interno e externo adotados foram de 1:1,5. A seguir apresentamos a metodologia de cálculo.

7.2 Formulação

Para o cálculo dos pesos unitários dos blocos de rocha da carapaça é utilizada a fórmula de Hudson, resultante de estudos em modelos físicos e aferições na natureza. Essa fórmula tem sido utilizada mundialmente e proporcionado excelentes resultados quanto à estabilidade das estruturas.

A seguir são apresentadas as formulas utilizadas para cálculo dos diferentes parâmetros relativos a seção transversal da estrutura de acordo com recomendações do Shore Protection Manual.

7.2.1. Peso unitário dos blocos da carapaça através da fórmula de Hudson

$$W_{50} = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \Delta^3 \cotg \alpha}$$

onde:

H [m] – altura de onda;

Δ [-] – densidade relativa ($= \frac{\rho_r}{\rho_w} - 1$);

γ_r [N/m³] – peso específico do material constituinte do bloco;

ρ_r [kg/m³] – massa específica do material constituinte do bloco;

ρ_w [kg/m³] – massa específica da água na qual o bloco está mergulhado;

$\cotg \alpha$ [-] – cotangente do ângulo do talude com a horizontal;

D_{n50} [m] – diâmetro nominal do enrocamento;

K_D [-] – coeficiente de estabilidade de Hudson.



W_{50} : Peso médio dos blocos da carapaça (t).

Valores mínimo e máximo do peso dos blocos: $0,75W_{50}$ a $1,25 W_{50}$

Sendo que 50% dos blocos devem ter peso unitário acima de W_c .

γ_r : Peso específico da rocha: $2,65 \text{ t/m}^3$ (granítico).

H = Altura de onda significativa de projeto (m).

Δ : Relação entre os pesos específicos do bloco de rocha ($\gamma_r = 2,65 \text{ t/m}^3$) e da água do mar ($\gamma_w = 1,03 \text{ t/m}^3$).

α : Ângulo do talude do paramento da seção com a horizontal: $\text{arc cotg } (1,5 / 1)$.

K_D : Coeficiente de estabilidade: função da forma dos blocos de carapaça, da rugosidade superficial do bloco e do grau de embricamento obtido durante a colocação. Devido às características locais (zona de arrebentação) o K_d para trecho reto é 2,0, e para o cabeço é 1,9.

7.2.2. Peso unitário dos blocos da sub-carapaça

Essa camada constitui-se num filtro, que tem a função de impedir que o material mais fino do núcleo seja retirado, pelo movimento das ondas, e percole através da carapaça para fora da estrutura. A dimensão desses blocos é o peso da carapaça dividido por 10.

7.2.3. Espessuras da carapaça e da sub-carapaça

$$r = nk_{\Delta} D_n^{1/3} = nk_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_a} \right)^{1/3}$$

onde:

r [m] – espessura média da camada;

n_b [-] – número de blocos na espessura, normalmente igual a 2;

k_{Δ} [-] – coeficiente de camada empírico

W [kN] – peso dos blocos da camada;

γ_a [kN/m³] – peso específico do material dos blocos.



k_{Δ} : coeficiente da camada – 1,15

7.2.4. Largura da Crista

$$B = n_b k_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_a} \right)^{1/3}$$

onde:

B [m] – largura do coroamento;

n_b [-] – número de blocos colocados no coroamento, igual ou superior a 3;

k_{Δ} [-] – coeficiente de camada empírico

W [kN] – peso dos blocos do manto resistente;

γ_a [kN/m³] – peso volúmico do material dos blocos do manto resistente.

k_{Δ} : coeficiente da camada – 1,15

7.3 Dimensionamento

Com base nas fórmulas acima apresentamos a seguir a Tabela 7.1 com os valores calculados e adotados para os pesos e espessuras das camadas da seção transversal do enrocamento. Os parametros adotados nas fórmulas consideraram a estrutura dentro da zona de arrebentação.

Tabela 7.1. Pesos e espessuras das camadas de enrocamento .

CONCEPÇÃO ENROCAMENTO								
	Trechos	Onda de Proj. Hs (m)	Peso Médio bl. De Carapaça W (t)	Espessura da Carapaça Ec (m)	Largura da Crista (3bl.) B (m)	Peso Médio bl. De Sub-Carapaça Wsc (t) = W/10	Espessura da Sub-Carapaça Esc (m)	Nº Bl / m2 Unid.
Valores Adotados	Corpo	1,7	1,12					
Valores Adotados	Cabeço	1,7	1,17					
Peso medio adotado	Corpo		1,50	1,72	2,48	0,15	0,88	1,92
Peso medio adotado	Cabeço		1,50	1,72	2,48	0,15	0,88	1,92
Faixa de pesos adotados	Corpo e Cabeço		1,2<W<2,2			0,1<W<0,3		



Devido os pesos dos blocos de enrocamento do corpo e do cabeço terem valores próximos, adotamos os mesmos valores para os enrocamentos do corpo e do cabeço. Isso não altera a segurança da obra e tem a finalidade de facilitar a seleção dos blocos e, portanto, a sua construção.

7.4 Volumes de Enrocamento

O volume de enrocamento a ser consumido pela obra é de aproximadamente 44.153 m³ (Quarenta e quatro mil, cento e cinquenta e tres metros cubicos) distribuidos conforme mostra a Tabela 7.2 a seguir. Ou seja, 26.150 m³ de material de nucleo, até 0,1t; 4.111 m³ de enrocamento de 0,1t até 0,3t e 13.892 m³ de material de 1,2 até 2,2 t, que é o enrocamento de carapaça.

Tabela 7.2 – Quantitativos de enrocamento para o prolongamento do molhe com extensão de 100m.

TOTAIS	VOL. TOTAIS
	(m3)
Nucleo: Até 0,1t	26.150
0,1 a 0,3t	4.111
1,2 a 2,2t	13.892
VOLUME TOTAL (m3)=	44.153

Os detalhes da seção transversal do enrocamento, bem como sua planta baixa encontram-se apresentados nas figuras reduzidas a seguir.



8. DESENHOS

A seguir apresentamos as Figuras 8.1 a 8.2 reduzidas, relativas aos desenhos do projeto.

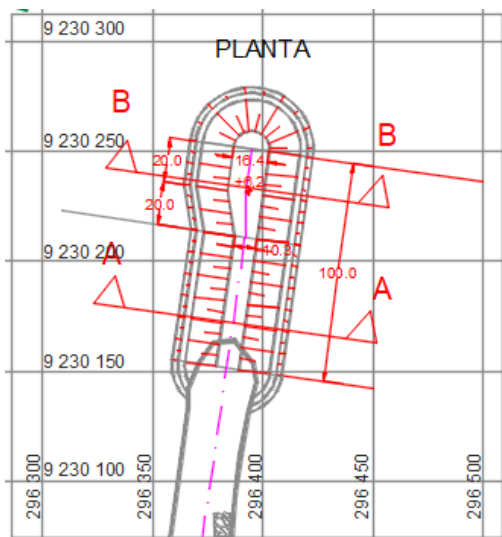


Figura 8.1 – Desenho reduzido mostrando o prolongamento de 100m proposto para o projeto.

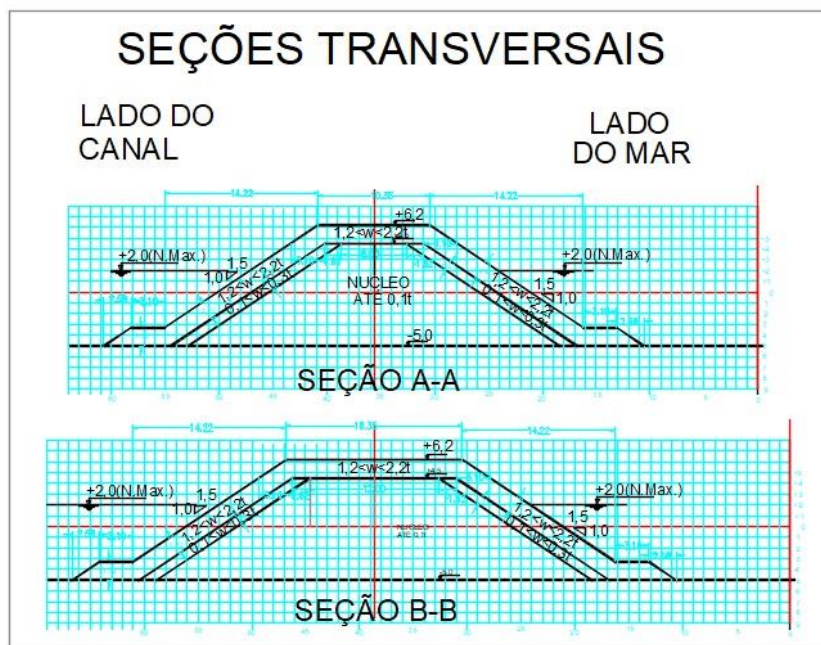


Figura 8.2 – Desenho reduzido mostrando as seções transversais para o prolongamento de 100m proposto.



Ao final do Relatório encontra-se apresentado o Desenho de planta e seções transversais com os respectivos detalhes relativos ao projeto do prolongamento do molhe de abrigo do porto de Cabedelo.



9. METODOLOGIA PARA CONSTRUÇÃO DO ENROCAMENTO

A presente Metodologia tem por objetivo recomendar condições a serem observadas na construção da obra a ser executada.

Os serviços referentes a construção dos enrocamentos compreendem todas as operações necessárias à sua execução, desde a lavra da pedreira até a colocação final dos enrocamentos na obra.

9.1 Pedreira

A seleção dos blocos de rocha na pedreira será realizada através de gabaritos e colocados em exposição, de forma a facilitar a avaliação visual pelo operador conforme ilustração da Figura 9.1 a seguir. Esses gabaritos deverão ter dimensões de acordo com a faixa de pesos de projeto. Pelo menos três gabaritos serão necessários: um com peso mínimo, um com peso médio e um com peso máximo de cada faixa granulométrica de pedras da seção transversal.

O enrocamento para a obra será constituído por blocos de rocha sã, com pesos variados entre os especificados no projeto conforme curva granulométrica a seguir.

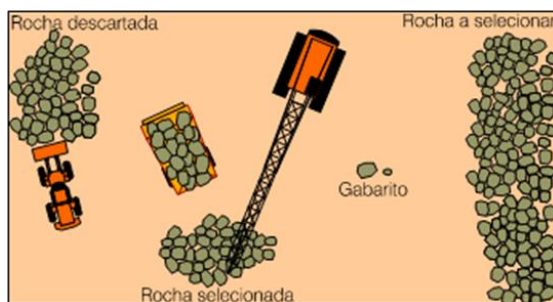


Figura 9.1 – Ilustração do layout da praça de seleção dos blocos na pedreira.

As faixas de enrocamento a serem obtidas são de núcleo, tout venant (TOT), sub carapaças e carapaças (1,2 t a 2,2 t).

O núcleo tout venant (todo o tamanho) deverá ser constituído de rocha isenta de substâncias vegetais, terra e argila, com granulometria variada, contendo todo material que não for selecionado para as bermas conforme figura 9.2.



As rochas para a carapaça deverão ser constituídas de blocos de rocha sã com pesos dentro das faixas especificadas conforme limites apresentados na curva da figura 9.3.

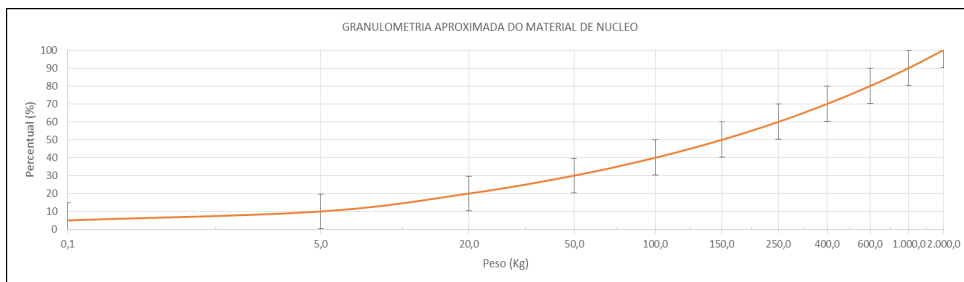


Figura 9.2 – Faixas limites para a granulometria dos blocos de núcleo.

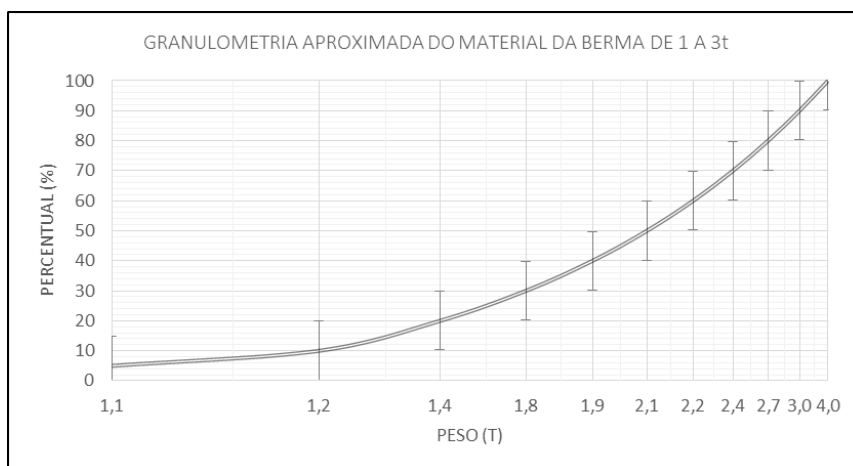


Figura 9.3 – Faixas limites para a granulometria dos blocos de 1 a 3t.

9.2 Características Gerais da Rocha

A rocha a ser empregada deverá ser de boa qualidade, sã e não fraturada, inalterável à ação dos agentes atmosféricos, ao ataque químico pela água do mar e às alternâncias de imersão.

O material deverá ser isento de substâncias vegetais, de argilas e terras, bem como de capas de jazidas ou outros materiais estranhos à rocha.



Os blocos não deverão apresentar ocos, fissuras ou superfícies de fratura, nem outras imperfeições ou defeitos que possam contribuir para a sua fratura nas operações de transporte e colocação na obra, e durante a sua exposição às intempéries.

No caso de ocorrência de veios de rocha com alteração ou suspeita, e portanto não aceitável para o enrocamento, a remoção desses trechos de rocha alterada deverá ser realizada de modo a não misturar com a rocha sã.

Os blocos de pedra devem ter um peso específico, determinado após a saturação com água doce e secagem da superfície, na ordem de $2,65 \text{ t/m}^3$.

A rocha a ser utilizada deverá ter uma tensão de ruptura por compressão simples, normal ao leito de estrato, superior à $0,5 \text{ t/cm}^2$.

Os blocos de pedra utilizados devem obedecer às especificações constantes do Projeto das Seções Transversais, tendo os limites de variação conforme lá descritos.

Os blocos não poderão ter formatos lamelares, ou seja, não será admitido a colocação de blocos “chatos”. Os blocos de rocha da armadura de proteção deverão ter sua dimensão mínima não inferior a um terço da sua dimensão máxima.

9.3 Ensaios a Serem Realizados

9.3.1. Ensaios Geotécnicos

Os ensaios e pesquisas para caracterização do meio ambiente deverão obedecer às normas ABNT pertinentes ao assunto. Os tipos e quantidades de sondagens serão definidos em relatório específico.

9.3.2. Ensaios para Controle Tecnológico do Material

Os ensaios para o estabelecimento da adequabilidade do material a ser utilizado serão realizados por laboratório de renomada competência, e deverão no mínimo fornecer os seguintes dados técnicos:

- peso específico da rocha saturada e com superfície seca;
- índice de absorção da rocha após imersão durante trinta dias em água salgada a 20 graus centígrados, com indicação do comportamento da rocha, no tocante a indícios de dissolução, abrandamento ou desintegração no fim do tempo de imersão;
- Tensão de ruptura por compressão simples normal ao leito do extrato; e



- Todos os certificados solicitados pelo contratante.

9.4 Descarga no “Pulmão”

Após pesagem e seleção, os blocos serão transportados e descarregados, ou no “pulmão” (área de depósito e armazenagem), ou diretamente na obra em construção dependendo da logística construtiva adotada.

9.5 Arrumação do Talude

Após o basculamento do enrocamento, o equipamento utilizado (retro e guindaste) efetuará a arrumação do talude para colocação dos blocos, obedecendo rigorosamente as dimensões de projeto não sendo permitido nenhum tipo de contaminação no enrocamento.

9.6 Arrumação de Blocos

Para arrumação dos blocos de carapaça estrutural será necessário a utilização de gabaritos, guindastes, mergulhadores e verificações através de acompanhamentos topográficos periódicos. O controle na colocação dos blocos deverá ser rigoroso, tanto no que diz respeito à geometria da seção transversal, quanto nos pesos e distribuição granulométrica dos blocos na estrutura, especialmente dos blocos da carapaça estrutural.

9.7 Transporte Terrestre

A jazida a qual fornecerá material necessário para construção do enrocamento deverá estar localizada o mais próximo possível do local da obra, e o material rochoso será transportado até o local pré-determinado através de veículos considerados mais adequados ao trabalho.

9.8 Equipamentos

As principais etapas das obras de enrocamento são:

1. execução do núcleo por basculamento do enrocamento (ponta de aterro);
2. colocação, por guindaste(s) e/ou basculamento, dos blocos de forma que o talude seja o de projeto.



3. colocação dos blocos da carapaça estrutural com critério e cuidado para que as camadas de blocos sejam assentadas com o talude e largura de projeto.

Devido às características destas obras, os equipamentos recomendados incluem:

- caminhões (no mínimo, com dois eixos traseiros) para a realização do transporte do enrocamento entre a pedreira e o local da obra;
- guindaste(s), retro, tratores e/ou pás carregadeiras com lança e caçambas com capacidade de içamento e lançamento adequados para colocação dos blocos de rocha da armadura;
- pá(s) carregadeira(s) e/ou trator(es) de lâmina para apoio às operações realizadas pelos caminhões e guindaste(s).



10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Recomenda-se a realização de um levantamento topobatimétrico da região abrangendo seções transversais do molhe existente, e batimetria numa área compreendendo pelo menos 1Km para Leste e 1Km para Oeste indo até a batimétrica -10m. Esse estudo permitirá otimizações no traçado da obra e medidas mitigadoras caso haja influencia negativa na região.

Recomenda-se também a execução de pelo menos dois pontos de sondagem geotécnica no eixo do molhe, o que poderá ser repassado para a construtora por ocasião da realização das obras.



11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Cartas Náuticas.
- DHI, 2023. MIKE 21 User Manual.
- Shore protection Manual – USACE.
- *Site na internet* do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF.
- *Site na internet* Google Earth.



12. ANEXOS

- Planta baixa_rev3
- Planta com seções transversais_rev3
- Composição de Preços Estimados_base abril/2025



