Anteprojeto de Engenharia para a Recuperação da Orla de Guaratuba/PR

Memorial descritivo e de cálculo

Obras marítimas



UNILIVRE

Prefeitura Municipal

META 2

ANTEPROJETO DE ENGENHARIA PARA A RECUPERAÇÃO DA ORLA DE GUARATUBA/PR

MEMORIAL DESCRITIVO DAS OBRAS MARÍTIMAS

RELATÓRIO FINAL

CURITIBA

2025

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – EQUIPE TÉCNICA. 14
QUADRO 2 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS ANALISADOS EM LABORATÓRIO. 35
QUADRO 3 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS COLETADOS EM ÁREA MARÍTIMA. 36
QUADRO 4 – ESCALA GRANULOMÉTRICA SIMPLIFICADA DE WENTWORTH E SUAS CORRELAÇÕES PELO PARÂMETRO “PHI”. 44
QUADRO 5 – RESULTADOS DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS COLETADAS EM ÁREAS MARÍTIMAS. 73
QUADRO 6 – RESUMO DAS SUBDIVISÃO DA LINHA DE COSTA 95
QUADRO 7 – CLASSIFICAÇÃO DOS GALGAMENTOS. 112
QUADRO 8 – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO GEOTÊXTIL TECIDO. 117
QUADRO 9 – CARACTERÍSTICAS DOS ENROCAMENTOS. 120
QUADRO 10 – CARACTERÍSTICAS DOS TETRÁPODES. 120
QUADRO 11 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO GUIA-CORRENTES NORTE DA PRAIA CENTRAL. 121
QUADRO 12 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO GUIA-CORRENTES SUL DA PRAIA CENTRAL. 122
QUADRO 13 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO HEADLAND DA PRAIA CENTRAL. 123
QUADRO 14 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO ESPIGÃO CENTRO DE CAIEIRAS. 124
QUADRO 15 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO ESPIGÃO NORTE DE CAIEIRAS. 124
QUADRO 16 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO GUIA-CORRENTES PRAINHA LESTE. 125
QUADRO 17 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO GUIA-CORRENTES PRAINHA CENTRO – MOLHE LESTE. 126
QUADRO 18 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO GUIA-CORRENTES PRAINHA CENTRO – MOLHE OESTE. 126
QUADRO 19 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO HEADLAND PRAINHA OESTE. 127
QUADRO 20 – ALTURA DE ONDA DE QUEBRA (H_B) MÉDIA ANUAL EM 2014 PARA CADA PRAIA. 137
QUADRO 21 – CARACTERIZÇÃO DO PRISMA DE ENGORDAMENTO PARA CADA PRAIA. 137
QUADRO 22 – RESUMO DA AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO ENGORDAMENTO. 137
QUADRO 23 – CARACTERÍSTICAS DA DRAGA HOPPER PROPOSTA. 153
QUADRO 24 – QUANTITATIVO DE EQUIPAMENTOS PREVISTOS PARA AS OBRAS MARÍTIMAS. 160
QUADRO 25 – CRONOGRAMA DAS OBRAS MARÍTIMAS. 167

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DO PONTO DE BASE TS02. 25
TABELA 2 – DISTRIBUIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA PRAIA CENTRAL. 55
TABELA 3 – DISTRIBUIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA PRAIA DE CAIEIRAS. 62
TABELA 4 – DISTRIBUIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA PRAINHA. 68
TABELA 5 – RESULTADOS DE φ (PHI) PARA OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DE FOLK E WARD (1957) E DISTRIBUIÇÃO TEXTURAL. 69
TABELA 6 – TAXA DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR. 76
TABELA 7 – RESUMO DOS NÍVEIS EXTREMOS PARA GUARATUBA. 77
TABELA 8 – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE VAZÃO COM ADCP. 82
TABELA 9 – SÉRIE HISTÓRICA MÁXIMA ANUAL DE HMÁX, HS E TP. 86
TABELA 10 – RESULTADOS DAS ALTURAS DE ONDAS MÁXIMAS PARA DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA E DISTRIBUIÇÕES, NA DIREÇÃO LESTE. 87
TABELA 11 – RESULTADOS DAS ALTURAS DE ONDAS MÁXIMAS PARA DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA E DISTRIBUIÇÕES, NA DIREÇÃO SUDESTE. 88
TABELA 12 – RESULTADOS DAS ALTURAS DE PROJETO (HD) PARA TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 100 ANOS, CONFORME DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL. 91
TABELA 13 – RESULTADOS DE TP UTILIZANDO AS EQUAÇÕES DE CORRELAÇÃO TP E HS. 93
TABELA 14 – COEFICIENTES DE REFRAÇÃO PARA ONDULAÇÃO DE SUDESTE. 97
TABELA 15 – PARÂMETROS DE DIFRAÇÃO PARA A ZONA SUB1 PARA ONDULAÇÃO DE SUDESTE. 98
TABELA 16 – COEFICIENTES DE EMPOLAMENTO PARA ONDULAÇÃO DE SUDESTE. 98
TABELA 17 – ALTURA DE QUEBRA DE ONDA (HB) PARA ONDULAÇÃO DE SUDESTE PARA DIFERENTES PROFUNDIDADES NA LINHA DE COSTA DE GUARATUBA. 100
TABELA 18 – ALTURA DE ONDA PARA AS ESTRUTURAS PROPOSTAS. 101
TABELA 19 – TAXA MÉDIA DE GALGAMENTO POR ESTRUTURA. 111
TABELA 20 – VOLUMES DE ESCAVAÇÃO. 118
TABELA 21 – QUANTITATIVO DE MATERIAIS PARA AS ESTRUTURAS MARÍTIMAS – VOLUMES EM M³. 119
TABELA 22 – ESTIMATIVA DE GEOTUBOS TÊXTEIS. 120
TABELA 23 – DIMENSÕES DAS FAIXAS DE ENGORDAMENTO E VOLUMES ESTIMADOS. 127

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ÁREA DE ESTUDO. 17
FIGURA 2 – ÁREA URBANA DE GUARATUBA. 18
FIGURA 3 – ÁREAS DE EXECUÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS. 21
FIGURA 4 – INSTALAÇÃO DA BASE TS02 (ESQUERDA) E INSTALAÇÃO DA RÉGUA DE MAREGRAFIA (DIREITA). 23
FIGURA 5 – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO. 23
FIGURA 6 – LEVANTAMENTO DE SEÇÕES DE PRAIA. 24
FIGURA 7 – CAMINHAMENTO DO NIVELAMENTO E CONTRANIVELAMENTO. 26
FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AUXILIARES MATERIALIZADOS EM CAMPO. 27
FIGURA 9 – MONITORAMENTO DA VARIAÇÃO DE MARÉ. 28
FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE APOIO AEROFOTOGRAMÉTRICOS. 29
FIGURA 11 – PARTE DA NUVEM DE PONTOS LOCALIZADA NA PRAIA CENTRAL. 30
FIGURA 12 – PROCESSO DE FILTRAGEM DE MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE DA ÁREA EMERSA, PARA MODELO DIGITAL DO TERRENO. LADO ESQUERDO MDS, LADO DIREITO MDT. 31
FIGURA 13 – MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DA ÁREA EMERSA. 31
FIGURA 14 – ÁREAS CONTEMPLADAS PELOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS. 32
FIGURA 15 – PONTOS TOPOBATIMÉTRICOS LEVANTADOS. 33
FIGURA 16 – PERFIL DE PRAIA ESQUEMÁTICO COM INDICAÇÃO DOS 4 PONTOS DE COLETA DE SEDIMENTOS. 34
FIGURA 17 – AMOSTRAS DE SEDIMENTOS COLETADAS NAS FAIXAS DE PRAIAS. 38
FIGURA 18 – AMOSTRAS DE SEDIMENTOS COLETADAS EM ÁREA MARÍTIMA. 39
FIGURA 19 – COLETA DE AMOSTRAS DE SEDIMENTOS. 40
FIGURA 20 – INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA A PESQUISA MINERAL SOB LÂMINA D'ÁGU: BARRA MINA, AMOSTRADOR DE GIGGS, CORDAME, MOSQUETÕES, SACOS PLÁSTICOS, CÂMERA GOPRO E UM GUINCHO ELÉTRICO. 41
FIGURA 21 – DRAGA DE ARRASTO DE GIBBS, PRESA POR UMA CORDA GRADUADA A CADA METRO, DESCARREGANDO VOLUMES DE AMOSTRAS DE AREIA FINA. 42
FIGURA 22 – AMOSTRA DE SEDIMENTOS COLETADA COM A UTILIZAÇÃO DA DRAGA DE ARRASTO DE GIBBS, TRANSFERIDA PARA UM SACO PLÁSTICO REFORÇADO. 42
FIGURA 23 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1A1. 46
FIGURA 24 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1A2. 46
FIGURA 25 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1A3. 46
FIGURA 26 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1A4. 47
FIGURA 27 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S1A. 47
FIGURA 28 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4A1. 48
FIGURA 29 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4A2. 48
FIGURA 30 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4A3. 48
FIGURA 31 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4A4. 49

FIGURA 32 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S4A. 49
FIGURA 33 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S7A1. 50
FIGURA 34 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S7A2. 50
FIGURA 35 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S7A3. 50
FIGURA 36 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S7A4. 51
FIGURA 37 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S7A. 51
FIGURA 38 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S9A1. 52
FIGURA 39 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S9A2. 52
FIGURA 40 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S9A3. 52
FIGURA 41 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S9A4. 53
FIGURA 42 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S9A. 53
FIGURA 43 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S11A1. 54
FIGURA 44 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S11A2. 54
FIGURA 45 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S11A3. 54
FIGURA 46 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S11A4. 55
FIGURA 47 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S11A. 55
FIGURA 48 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1B1. 56
FIGURA 49 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1B2. 57
FIGURA 50 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1B3. 57
FIGURA 51 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1B4. 57
FIGURA 52 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S1B. 58
FIGURA 53 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S3B1. 58
FIGURA 54 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S3B2. 59
FIGURA 55 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S3B3. 59
FIGURA 56 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S3B4. 59
FIGURA 57 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S3B. 60
FIGURA 58 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4B1. 60
FIGURA 59 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4B2. 61
FIGURA 60 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4B3. 61
FIGURA 61 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4B4. 61
FIGURA 62 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S4B. 62
FIGURA 63 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S0C1. 63
FIGURA 64 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S0C2. 63
FIGURA 65 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S0C. 63
FIGURA 66 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S2C1. 64
FIGURA 67 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S2C2. 64
FIGURA 68 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S2C3. 65
FIGURA 69 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S2C4. 65
FIGURA 70 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S2C. 65
FIGURA 71 – S4C1 66
FIGURA 72 – S4C2 66

FIGURA 73 – S4C3 67
FIGURA 74 – S4C4 67
FIGURA 75 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS – S4C 67
FIGURA 76 – LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE EMPRÉSTIMO DE AREIA PARA AS OBRAS DE ENGORDAMENTO 72
FIGURA 77 – EMBARCAÇÃO UTILIZADA NO LEVANTAMENTO, COM ADCP E GPS ACOPLADOS. 78
FIGURA 78 – EQUIPAMENTO ADCP. A) SONDA; B) PCM; C) GPS; D) SONDA, PCM E GPS MONTADOS EM PRANCHA FLUTUANTE; E) RTK. 79
FIGURA 79 – PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO DE VAZÃO COM EQUIPAMENTO ADCP. 79
FIGURA 80 – BASE FIXA GPS. 79
FIGURA 81 – SONDA CASTAWAY CTD 80
FIGURA 82 – PERFIS DE TEMPERATURA, CONDUTIVIDADE, SALINIDADE E VELOCIDADE DO SOM NA ÁGUA MEDIDOS COM CASTAWAY CTD EM 08/03/2024 ÀS 11:42 H. 81
FIGURA 83 – LOCAIS DE MEDIÇÃO COM ADCP E CTD 81
FIGURA 84 – VARIAÇÃO DAS VAZÕES MEDIDAS. 83
FIGURA 85 – VELOCIDADES DA ÁGUA MEDIDAS COM ADCP NA ENTRADA DA BAÍA DE GUARATUBA, EM 08/03/20204, 11:00 H, VAZÃO = 5270 M³/S (MARÉ ENCHENTE). 84
FIGURA 86 – VELOCIDADES DA ÁGUA MEDIDAS COM ADCP NA ENTRADA DA BAÍA DE GUARATUBA, EM 08/03/20204, 15:44 H, VAZÃO = 6230 M³/S (MARÉ VAZANTE). 84
FIGURA 87 – AJUSTE DAS CURVAS GERADAS PELAS DISTRIBUIÇÕES PARA HMÁX – LESTE. 89
FIGURA 88 – AJUSTE DAS CURVAS GERADAS PELAS DISTRIBUIÇÕES PARA HMÁX – SUDESTE. 90
FIGURA 89 – ANÁLISE DE ONDAS EXTREMAS PRÓXIMO A GUARATUBA. 91
FIGURA 90 – RESULTADOS DA CORRELAÇÃO HS95% E TP PARA O PONTO 1 (PRÓXIMO DE GUARATUBA). 92
FIGURA 91 – SUBDIVISÕES DA LINHA DE COSTA GUARATUBA. 95
FIGURA 92 – ESTRUTURAS MARÍTIMAS PROPOSTAS PARA A PRAIA CENTRAL. 104
FIGURA 93 – ESTRUTURAS MARÍTIMAS PROPOSTAS PARA A PRAIA DE CAIEIRAS. 105
FIGURA 94 – ESTRUTURAS MARÍTIMAS PROPOSTAS PARA A PRAINHA. 106
FIGURA 95 – LOCAÇÃO DOS PILARES DA PONTE DE GUARATUBA. 107
FIGURA 96 – ESQUEMA GERAL DA SEÇÃO TRANSVERSAL DAS ESTRUTURAS SEMIRRÍGIDAS. 107
FIGURA 97 – CROQUI ESQUEMÁTICO DO MODELO DO TETRÁPODE. 109
FIGURA 98 – EXEMPLO DE TETRÁPODES, UTILIZADOS NAS OBRAS DE ENGORDAMENTO DE MATINHOS-PR. 110
FIGURA 99 – SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA DA SOLUÇÃO. 112
FIGURA 100 – DIMENSÕES BÁSICAS DE UMA UNIDADE GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE PARA APLICAÇÃO MARINHA. 113
FIGURA 101 – DIMENSÕES TEÓRICAS DO GEOTUBO. 113
FIGURA 102 – DADOS DE SAÍDA DO SOFTWARE EM QUE É CALCULADA A GEOMETRIA DO GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE, AS TENSÕES ÀS QUAIS ESTÁ SUBMETIDA E OS FATORES DE SEGURANÇA. 114

FIGURA 103 – PROCESSO DE DESAGUAMENTO DE SEDIMENTOS CONTAMINADOS EM QUE O EMPILHAMENTO FINAL RESULTOU EM 11 CAMADAS DE UNIDADES GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE (FOTO TIRADA EM ASHTABULA, OHIO, EUA). 115
FIGURA 104 – ELEMENTOS GERAIS DA TECNOLOGIA GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE COM DESTAQUE PARA O TAPETE DE ANCORAGEM – SISTEMA ANTI-SOLAPAMENTO. 116
FIGURA 105 – ILUSTRAÇÃO GRÁFICA E MATEMÁTICA PARA CÁLCULO DO ESFORÇO DE TRAÇÃO NO GEOTÊXTIL TECIDO CONSTITUINTE DO GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE..... 117
FIGURA 106 – EXEMPLO DE PERFIL TRANSVERSAL DE PRAIA NA ORLA CENTRAL..... 128
FIGURA 107 – SISTEMA DE *OVERFLOW* COM VÁLVULA VERDE. 129
FIGURA 108 – *OVERFLOW* COM E SEM VÁLVULA VERDE. 130
FIGURA 109 – PLUMA DE SEDIMENTOS GERADA DURANTE O *OVERFLOW*. 130
FIGURA 110 – VOLUME DE CONTROLE DO PERFIL DE PRAIA. 132
FIGURA 111 – REPRESENTAÇÃO DA BERMA DO ENGORDAMENTO EM PLANTA. 134
FIGURA 112 – ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDA (HS) MÉDIA ANUAL DE 2014. 136
FIGURA 113 – ELEMENTOS GERAIS DA TECNOLOGIA GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE COM DESTAQUE PARA O TAPETE DE ANCORAGEM – SISTEMA ANTI-SOLAPAMENTO. 140
FIGURA 114 – ESPIGÕES E DIQUES DE CONTENÇÃO DE RETROÁREA PARA CONSTRUÇÃO DE MARINA EM CASABLANCA – EQUADOR. 140
FIGURA 115 – PREPARAÇÃO DA ÁREA PARA INSTALAÇÃO DO GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE. 142
FIGURA 116 – DRAGA POSICIONADA PARA RECALQUE DE EMULSÃO (ÁGUA + AREIA) PARA AS UNIDADES GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE..... 143
FIGURA 117 – GUINDASTE SOBRE ESTEIRAS PARA COLOCAÇÃO DE PEÇA DE CONCRETO NA CARAPAÇA DE GUIA-CORRENTES. 147
FIGURA 118 – ORIENTAÇÃO PARA LOCAÇÃO DE PEÇA DE CONCRETO NA CARAPAÇA DO GUIA-CORRENTES. 147
FIGURA 119 – EXEMPLO DE DRAGA COM AS CARACTERÍSTICAS INDICADAS. 154
FIGURA 120 – FASE 1: DESLOCAMENTO DA DRAGA ATÉ A ÁREA DA JAZIDA..... 155
FIGURA 121 – FASE 2: INÍCIO DA DRAGAGEM COM SUCÇÃO E BOMBEAMENTO PARA A CISTERNA DA DRAGA. 156
FIGURA 122 – FASE 3: APÓS ATINGIDA A CAPACIDADE MÁXIMA DA CISTERNA (OU CALADO MÁXIMO), TRANSPORTE ATÉ O TRECHO DE PRAIA A SER ENGORDADO..... 156
FIGURA 123 – FASE 4: POSICIONAMENTO DA DRAGA, ACOPLAMENTO DA LINHA DE RECALQUE E BOMBEAMENTO DA MISTURA (ÁGUA+SEDIMENTOS) ATÉ A FAIXA DE PRAIA. 156
FIGURA 124 – FASE 5: SERVIÇOS EM TERRA DE MONTAGEM DA LINHA DE RECALQUE E ESPALHAMENTO DOS SEDIMENTOS. 157
FIGURA 125 – LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE EMPRÉSTIMO DE AREIA PARA AS OBRAS DE ENGORDAMENTO..... 163
FIGURA 126 – LOCALIZAÇÃO DAS PEDREIRAS MAIS PRÓXIMAS AO EMPREENDIMENTO..... 165
FIGURA 127 – LOCALIZAÇÃO DOS AREAIS MAIS PRÓXIMOS AO EMPREENDIMENTO. 166

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 12
1 INFORMAÇÕES CONTRATUAIS 13
1.1 CONTRATANTE 13
1.2 CONTRATADA 13
1.3 EQUIPE TÉCNICA 14
2 INTRODUÇÃO 16
3 ÁREA DE ESTUDO 17
4 ESCOPO DOS ESTUDOS 19
5 LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS E TOPOGRÁFICOS 20
5.1 BATIMETRIA 20
5.2 TOPOGRAFIA E AEROLEVANTAMENTOS 28
5.3 INTEGRAÇÃO DA BATIMETRIA E TOPOGRAFIA 31
6 LEVANTAMENTOS SEDIMENTOMÉTRICOS 34
6.1 LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAGENS 35
6.2 MATERIAIS E MÉTODOS 40
6.2.1 Método de Amostragem nas Faixas de Praia 40
6.2.2 Método de Amostragem na Área Marítima 40
6.2.3 Métodos de Classificação Granulométrica em Laboratório 43
6.2.4 Resultados – Faixas de Praias 45
6.2.5 Resultados – Área Marítima 72
7 MARÉS E NÍVEIS DE ÁGUA 74
7.1 MARÉ ASTRONÔMICA 74
7.2 MARÉ METEOROLÓGICA 75
7.3 SOBRELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR 76
7.4 NÍVEIS DE ÁGUA EXTREMOS 77
8 MEDIÇÕES DE VAZÃO E VELOCIDADE DA ÁGUA 78
9 DETERMINAÇÃO DA ONDA DE PROJETO 85
9.1 ANÁLISE DE ONDAS EXTREMAS 86
9.2 PERÍODO (TP) PARA ONDA DE PROJETO (HD) 92
9.3 CONDIÇÕES DE ÁGUAS RASAS 93

9.4 SUBDIVISÃO DA LINHA DE COSTA 95
9.5 EFEITOS DE REFRAÇÃO 97
9.6 EFEITOS DE DIFRAÇÃO 97
9.7 EFEITOS DE EMPOLAMENTO 98
9.8 QUEBRA DA ONDA 99
9.9 RESUMO DA ONDA DE PROJETO (HD) PARA AS ESTRUTURAS PROPOSTAS 100
10 ANTEPROJETO DAS OBRAS MARÍTIMAS 102
10.1 ESTRUTURAS SEMIRRÍGIDAS 107
10.1.1 Dimensionamento do Peso de Blocos 108
10.1.1.1 Dimensionamento dos Blocos da Carapaça 108
10.1.1.2 Filtro e Núcleo 110
10.1.2 Verificação de Galgamento 110
10.1.3 Geotubo Têxtil de Alta Densidade 112
10.1.4 Especificações e Quantitativos de Materiais 118
10.1.5 Detalhamento das Estruturas 121
10.1.5.1 Guias-Correntes da Praia Central 121
10.1.5.2 *Headland* da Praia Central 122
10.1.5.3 Espigão Centro de Caieiras 123
10.1.5.4 Espigão Norte de Caieiras 124
10.1.5.5 Guia-Correntes Prainha Leste 125
10.1.5.6 Guias-Correntes Prainha Centro 125
10.1.5.7 *Headland* Prainha Oeste 126
10.2 ENGORDAMENTO ARTIFICIAL 127
10.2.1 *Overflow* 128
10.2.2 Premissas e Especificações Técnicas 131
10.2.3 Avaliação do tempo de vida útil da estrutura 132
10.2.3.1 Determinação dos parâmetros para as praias de Guaratuba 135
10.2.3.2 Estimativa da vida útil do engordamento 137
11 METODOLOGIA CONSTRUTIVA 139
11.1 GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE 139
11.1.1 Condições Locais 140

11.1.2 Sequência Geral 141
11.1.3 Estocagem 141
11.1.4 Preparação Local 141
11.1.5 Suprimento de Areia 142
11.1.6 Equipamentos 143
11.2 ENROCAMENTOS 144
11.2.1 Sequência Geral 144
11.2.2 Condições dos Blocos de Rocha 145
11.2.3 Condições dos Blocos de Tetrápodes 146
11.2.4 Equipamentos 148
11.2.5 Controle de Execução 148
11.2.5.1 Controle Topográfico e Subaquático 148
11.2.5.2 Tolerâncias 148
11.2.6 Normas de Medição 149
11.2.6.1 Sistema de Medição 149
11.2.6.2 Seções de Controle 149
11.2.6.3 Limitações 149
11.2.6.4 Registro 149
11.2.6.5 Sistema de Controle 150
11.2.6.6 Programação 151
11.3 ENGORDAMENTO ARTIFICIAL 152
11.3.1 Sequência Geral 154
11.3.2 Premissas Executivas 158
12 EQUIPAMENTOS 160
13 MÃO DE OBRA 162
14 JAZIDAS DE AREIA E PEDREIRAS 163
15 CRONOGRAMA 167
16 ORÇAMENTO 168
17 CONSIDERAÇÕES FINAIS 169
REFERÊNCIAS 170
ANEXOS 172
ANEXO 1 – AUTORIZAÇÃO Nº 112/24 – MARINHA DO BRASIL 173

ANEXO 2 – FICHA MAREGRÁFICA F-41 Nº 60100 (GUARATUBA IATE CLUBE) 174
ANEXO 3 – MONOGRAFIAS DAS BASES GEODÉSICAS 175
ANEXO 4 – PLANTAS DE BATIMETRIA E TOPOGRAFIA 176
ANEXO 5 – PERFIS DE PRAIA (ATUAL E PROJETADO) 177
ANEXO 6 – RELATÓRIO DE PESQUISA MINERAL DE AREIA NO LEITO OCEÂNICO 178
ANEXO 7 – COEFICIENTE DE REFRAÇÃO DA ONDA 179
ANEXO 8 – COEFICIENTE DE DIFRAÇÃO DA ONDA.....181
ANEXO 9 – ÍNDICE DE QUEBRA DA ONDA.....182
ANEXO 10 – DECLARAÇÃO DE DISPENSA DE TÍTULO MINERÁRIO Nº 01/2025 184
ANEXO 11 – DECLARAÇÃO DE DISPENSA DE TÍTULO MINERÁRIO Nº 02/2025 185

APRESENTAÇÃO

O presente documento foi elaborado pela Universidade Livre do Meio Ambiente (UNILIVRE), no âmbito do Contrato de Prestação de Serviços nº 523/2023-PMG, celebrado entre a Prefeitura Municipal de Guaratuba e a Universidade Livre do Meio Ambiente (UNILIVRE), com o objetivo de apresentar as atividades desenvolvidas no âmbito da **Meta 2 – Anteprojeto de Engenharia** para a Recuperação da Orla de Guaratuba, no litoral do estado do Paraná.

Este documento consiste no **Memorial Descritivo das Obras Marítimas**, sendo um dos volumes integrantes do Anteprojeto de Engenharia. As intervenções propostas são separadas em três categorias:

- **Obras Marítimas**: divididas entre estruturas flexíveis como o engordamento artificial das praias (ampliação da faixa de areia) e estruturas semirrígidas, tais como espigões, *headlands* e guias-correntes;
- **Obras de Drenagem**: readequação das estruturas de macrodrenagem e microdrenagem ao longo das orlas das praias;
- **Recuperação Urbanística e Paisagística**: construção e recuperação de calçadas, pavimentos, ciclovias, pistas de caminhada, iluminação, paisagismo e acessibilidade.

Portanto, os memoriais descritivos relativos às obras de drenagem e às obras de recuperação urbanística e paisagística são apresentados em outros volumes do Anteprojeto.

Curitiba, 1 de setembro de 2026.

gov.br
Documento assinado digitalmente
EDUARDO RATTON
Data: 01/09/2026 17:49:24-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Eduardo Ratton
Coordenador Geral do Projeto

1 INFORMAÇÕES CONTRATUAIS

A seguir são apresentados os dados cadastrais da Contratante e da Contratada, bem como da equipe técnica participante do projeto.

1.1 CONTRATANTE

Município de Guaratuba	**CNPJ: 76.017.474/0001-08**
Endereço: Rua Dr. João Cândido, 380, Centro	**Bairro:** Centro
Município-UF: Guaratuba- PR	**CEP:** 83280-000
Nome do Responsável	**Cargo**
Mauricio Lense	Prefeito Municipal

1.2 CONTRATADA

Universidade Livre do Meio Ambiente (UNILIVRE)	**CNPJ: 85.075.778/0001-12**
Endereço: Rua Comendador Macedo, 613	**Bairro:** Centro
Município-UF: Curitiba-PR	**CEP:** 80060-030
Fone: (41) 99879-6032	**E-mail:** adm@unilivre.org.br
Nomes dos Responsáveis	**Cargo**
Francisco A. Gevaerd	Diretor Superintendente
Raul Baglioli Filho	Diretor Técnico
Eduardo Ratton	Coordenador Geral

1.3 EQUIPE TÉCNICA

O Anteprojeto de Engenharia para a recuperação da orla de Guaratuba, litoral do estado do Paraná, foi elaborado por um corpo técnico multidisciplinar que contempla profissionais de diversas áreas do conhecimento e abrange as variadas disciplinas envolvidas na completude das análises previstas. A lista dos profissionais participantes do estudo é apresentada no QUADRO 1.

QUADRO 1 – EQUIPE TÉCNICA.

NOME	FORMAÇÃO PROFISSIONAL	ATIVIDADES / FUNÇÃO NO PROJETO
RAUL BAGLIOLI FILHO **CREA-PR: 4765/D** **ART: 1720244607935**	Engenheiro Civil Mestre em Gestão Empresarial	Supervisão
EDUARDO RATTON **CREA-PR: 7.657/D** **ART: 1720243933260**	Engenheiro Civil M.Sc. Geotecnia Dr. Geotecnia	Coordenação geral
PHILIPE RATTON **CREA-PR: 108.813/D** **ART: 1720244570934**	Engenheiro Civil M.Sc. Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental Dr. Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental	Coordenação executiva
AMANDA CHRISTINE GALLUCCI SILVA **CREA-PR 170306/D** **ART: 1720244578889**	Engenheira Civil M. Sc. Geotecnia Doutoranda em Sustentabilidade Ambiental Urbana	Estudos socioeconômicos
DONIZETI ANTONIO GIUSTI **CREA-SP: 63947/D** **ART: 1720244575146**	Geólogo M.Sc. Geociência Dr. Geociências e Meio Ambiente, Pós-Dr em Hidrogeolgia	Estudos geológicos
GABRIEL TROYAN RODRIGUES **CREA-PR: 189.287/D** **ART: 1720244576819**	Engenheiro Ambiental Esp. Geoprocessamento M.Sc. Gestão Urbana Doutorando em Gestão Urbana	Anteprojeto de Drenagem
GABRIELA COSTANARO GONÇALVES **CAU-PR A3055507**	Arquiteta e Urbanista Esp. em Gestão Urbana Mestranda em Planejamento Urbano	Estudos urbanísticos e de paisagem
GUILHERME MARQUES COLOMBO	Engenheiro Civil Esp. em Engenharia de Pavimentação MBA em Gerenciamento de Projetos	Orçamento e cronograma
GUSTAVO PACHECO TOMAS **CREA-SC 107305-9** **ART: 1720244631208**	Engenheiro Civil M.Sc. Engenharia Recursos Hídricos e Ambiental Dr. Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental	Estudos hidromorfológicos

NOME	FORMAÇÃO PROFISSIONAL	ATIVIDADES / FUNÇÃO NO PROJETO
JHON WESLEY DA SILVA GOMES	Graduando Engenharia Civil	Quantitativos e desenhos técnicos
FLAVIA CRISTINA ARENAS **ART: 1720244629661**	Engenheira Cartógrafa e Agrimensora Esp. Análise Ambiental	Elaboração de mapas temáticos
RODRIGO DE CASTRO MORO **CREA-PR: 137.730/D** **ART: 1720244575006**	Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor M.Sc. Ciência da Computação e Inteligência Artificial	Elaboração de mapas temáticos
WANDERSON SCHMIDT AMARAL **CAU-PR A1936492**	Arquiteto e Urbanista M.Sc em Planejamento Urbano	Estudos urbanísticos e de paisagem
EQUIPE DE APOIO		
GIOVANNA SOUZA VALE	Graduanda em Tecnologia em Processos Gerenciais Assistente administrativo	Suporte nas questões administrativas
JONATAS DANIEL SILVERIO	Graduando em Inteligência Artificial Aplicada Graduando em Engenharia da Computação	Suporte de tecnologia e informação
LUIZ GUILHERME GONÇALVES DA SILVA BORGES	Graduando em Tecnologia em Design Gráfico	Identidade visual
VILMA MACHADO **CRB-PR: 1.563/O**	Biblioteconomia Esp. Gestão da Informação e Inovações Tecnológicas M.Sc. Gestão de Políticas Públicas Doutoranda em Gestão da Informação	Edição de Relatórios

2 INTRODUÇÃO

O litoral do Estado do Paraná possui uma curta extensão em comparação com os demais estados costeiros, com aproximadamente 90 km, dos quais apenas 50 km são constituídos de praias. Guaratuba contribui com aproximadamente 14,5 km destas praias, que são frequentados por grande número de pessoas, principalmente durante o verão. De acordo com o Relatório de Revisão do Plano Diretor Municipal de 2023, no ano de 2006 foram contabilizados mais de 1,8 milhão de turistas em todo o Litoral Paranaense, sendo cerca de 543 mil apenas no município de Guaratuba.

Ao longo dos anos, a erosão marinha tem sido observada no município de Guaratuba, com a ocorrência de ressacas que destroem a infraestrutura da praia, como calçadas, ruas e até residências, além da retirada de areia das praias nas marés altas, prejudicando a balneabilidade. A evolução da erosão é um problema para o município, trazendo impactos negativos para a população, como danos a estruturas existentes ao longo da costa, prejuízos ao comércio, redução de áreas de lazer, risco à vida humana e desequilíbrio de ecossistemas ambientais.

Conforme o Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira, elaborado pelo Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO), do Governo Federal, as regiões costeiras são áreas complexas e sensíveis, estando sob influência da interação entre os ambientes marinhos e continentais. Esta característica, associada ao fenômeno das mudanças climáticas e à ocupação humana, acarreta um desequilíbrio do ambiente, aumentando as taxas de erosão ao longo da costa.

Neste contexto, com o objetivo de executar um projeto de controle da erosão costeira e de atender aos anseios e a reivindicação da população local e dos veranistas, que há tempos aguardam a ação governamental para a minimização dos impactos da erosão costeira e melhoria no sistema de drenagem, o governo municipal solicitou ao Instituto Água e Terra (IAT) um Termo de Referência (TR) para a elaboração de estudos para a recuperação da orla de Guaratuba, divididos em 3 metas principais:

- Meta 1: Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA);
- Meta 2: Elaboração de Anteprojeto de Engenharia (obras marítimas, drenagem, recuperação urbanística e orçamentos);
- Meta 3: Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA).

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do projeto é a orla do município de Guaratuba/PR, englobando três praias: Central, Caieiras e Prainha (FIGURA 1), com extensão total de aproximadamente 4,7 km. Adicionalmente, a área urbana de Guaratuba também foi considerada para a definição das áreas de contribuição de drenagem (FIGURA 2).

FIGURA 1 – ÁREA DE ESTUDO.

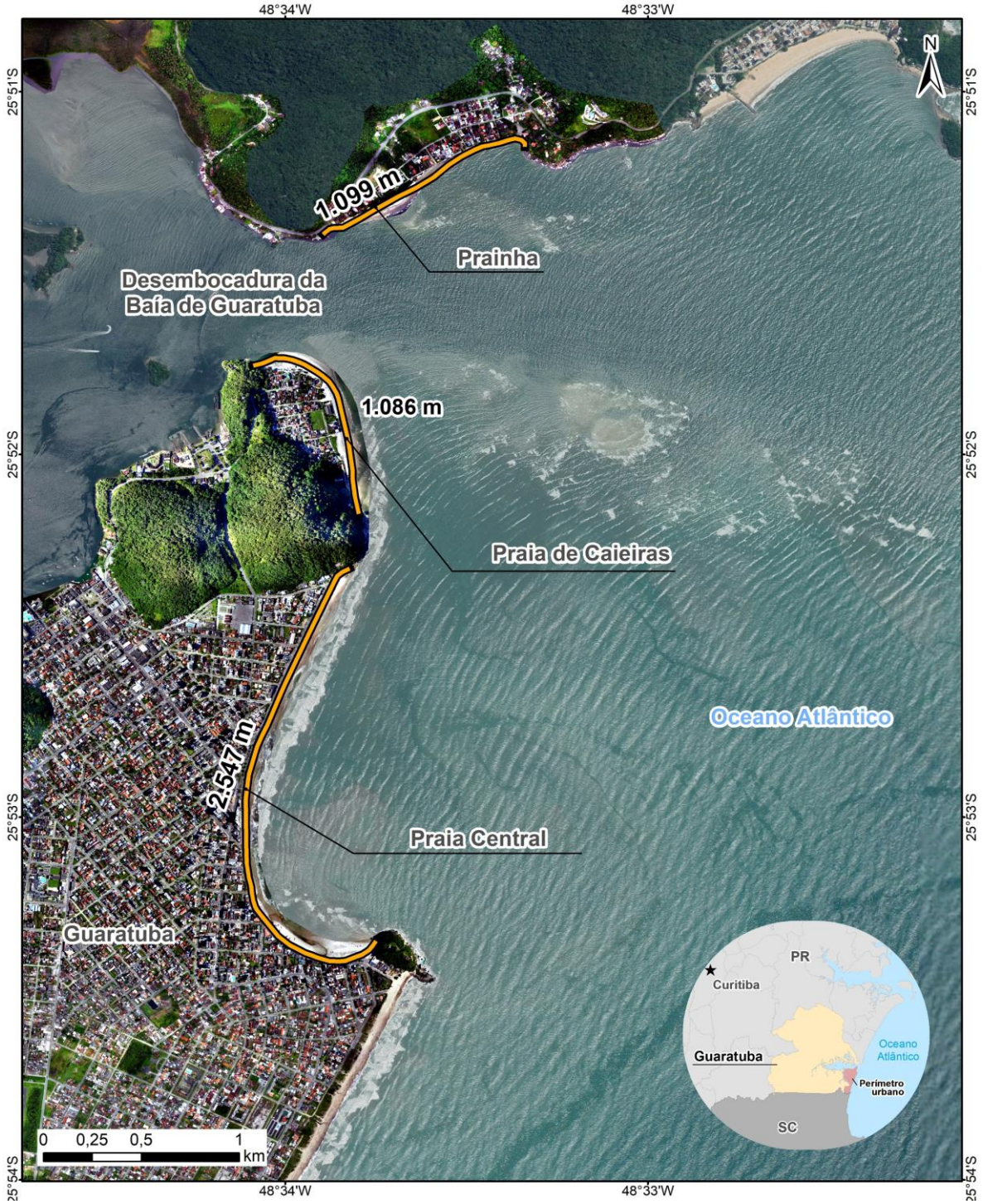


FIGURA 2 – ÁREA URBANA DE GUARATUBA.



4 ESCOPO DOS ESTUDOS

O Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) das obras de recuperação da orla de Guaratuba foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a viabilidade de implantação e operação das intervenções propostas considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais. No caso de Guaratuba, são estabelecidos 3 tipos diferentes de intervenções, as quais estão associadas entre si na medida em que deverão contribuir para o desenvolvimento do município, redução de impactos ambientais e melhoria da qualidade de vida da população. As 3 intervenções previstas são:

1) **Obras Marítimas**: são intervenções voltadas para a mitigação e controle de processos erosivos ao longo da orla, compreendendo obras de engenharia como o engordamento das praias (ampliação da faixa de areia) e a construção de estruturas para a fixação da areia através da redução da energia e influência das ondas e correntes, tais como espigões, *headlands* e guias-correntes.
2) **Obras de Drenagem**: são intervenções que têm o objetivo de facilitar o escoamento das águas acumuladas na cidade em direção ao mar, buscando mitigar inundações e alagamentos na área urbana. As intervenções previstas para Guaratuba envolvem a readequação das estruturas de macrodrenagem e microdrenagem ao longo das orlas das praias, propondo-se soluções adequadas para a realidade local;
3) **Recuperação Urbanística e Paisagística**: são obras de construção e recuperação de calçadas, pavimentos, ciclovias, pistas de caminhada, iluminação, paisagismo e acessibilidade. Considerando a precariedade atual da infraestrutura urbana de Guaratuba, essas intervenções deverão promover melhorias na qualidade de vida da população local e também para os turistas que frequentam o litoral anualmente.

Em função da alternativa selecionada no EVTEA como sendo a mais viável, para cada tipo de intervenção, considerando o tripé técnico-econômico-ambiental, o Anteprojeto de Engenharia foi elaborado contemplando o detalhamento das informações, tais como: memorial descritivo de dimensionamento, desenhos técnicos, método executivo, orçamento e cronograma previsto para execução das obras. O Anteprojeto apresenta elementos suficientes para a posterior elaboração do Projeto Executivo de Engenharia.

Neste relatório, é apresentado o Memorial Descritivo das Obras Marítimas. Os memoriais descritivos das outras intervenções propostas são apresentados em outros volumes integrantes do Anteprojeto.

5 LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS E TOPOGRÁFICOS

Com o objetivo de caracterizar as cotas altimétricas de áreas emersas e submersas na região de estudo, foram realizados levantamentos batimétricos e topográficos, com o apoio de imageamentos aéreos utilizando drone. A seguir são apresentados os métodos, procedimentos e resultados desses levantamentos.

Os levantamentos topográficos e batimétricos foram realizados pela empresa TOPSURVEY SERVIÇOS E CONSULTORIA LTDA. O período da campanha de campo foi de 23/02/2024 até 28/02/2024, incluindo a implantação de pontos de referência, levantamentos de perfis de praia, batimetria e aerolevantamentos das praias Central, Caieiras e Prainha, em Guaratuba/PR. Também foram realizados levantamentos na praia Mansa de Caiobá, em Matinhos/PR.

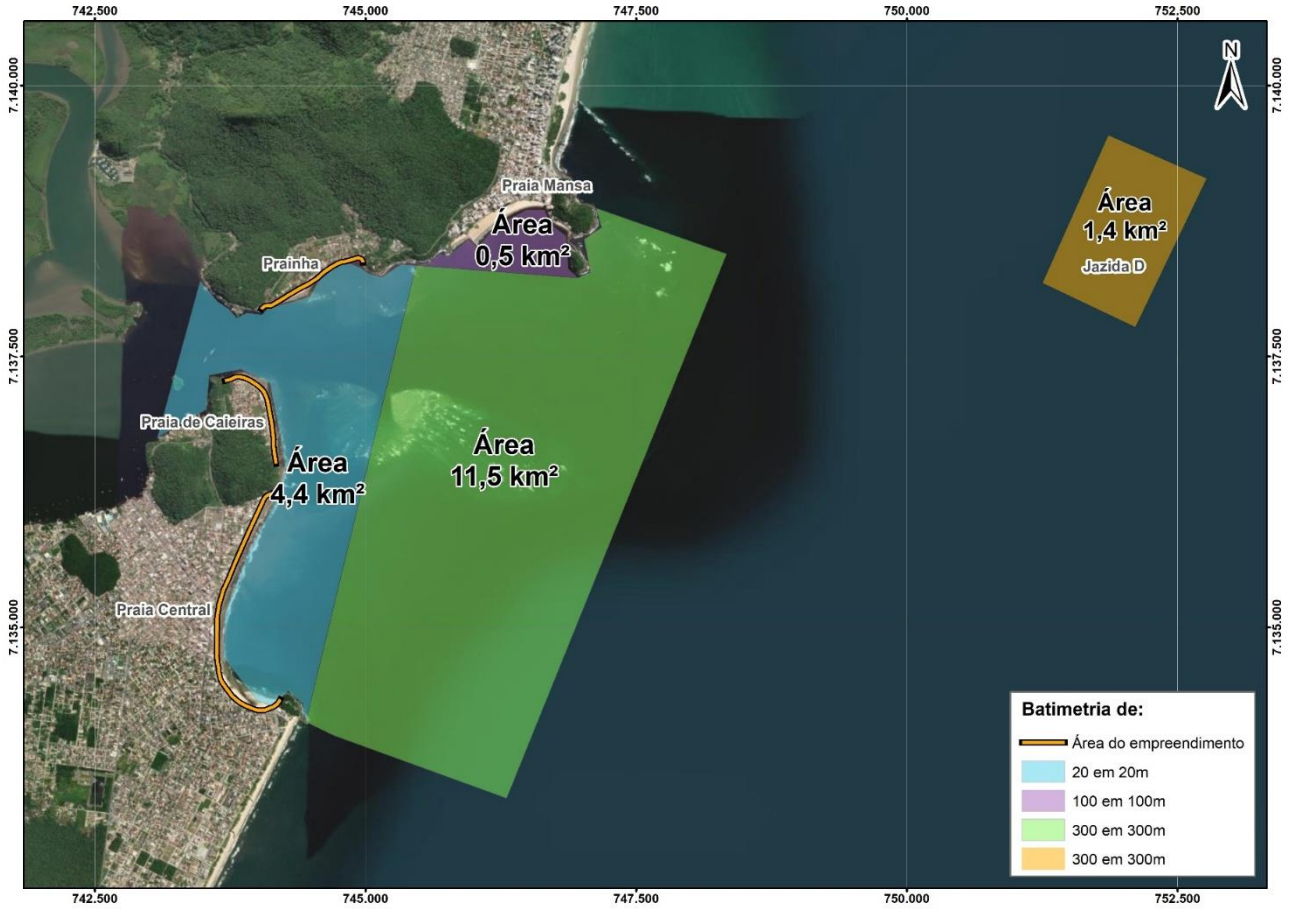
5.1 BATIMETRIA

Os levantamentos batimétricos foram realizados com o emprego de ecobatímetro monofeixe, com frequência de 200 kHz, calibrado diariamente. A área recoberta corresponde à área molhada em frente às quatro praias supracitadas, além da jazida oceânica inicialmente prospectada para empréstimo de material (denominada Jazida D), totalizando 17,8 km². Os limites de recobrimento e a resolução adotada são ilustrados na FIGURA 3 e descritos a seguir:

- **Praia Central:** foram levantadas seções perpendiculares à praia, espaçadas de 20 metros em 20 metros. Na região de alto mar, foram executadas linhas de 300 metros em 300 metros até o limite final da área estabelecida;
- **Praia de Caieiras:** foram levantadas seções perpendiculares à praia, espaçadas de 20 metros em 20 metros. Na região de alto mar, foram executadas linhas de 300 metros em 300 metros até o limite final da área estabelecida;
- **Prainha:** foram levantadas seções perpendiculares à praia, espaçadas de 20 metros em 20 metros. Na região de alto mar, foram executadas linhas de 300 metros em 300 metros até o limite final da área estabelecida;
- **Praia Mansa de Caiobá:** foram levantadas seções perpendiculares à praia, espaçadas de 100 metros em 100 metros. Na região de alto mar, foram executadas linhas de 300 metros em 300 metros até o limite final da área estabelecida;

- **Área de Jazida "D":** foram levantadas seções na direção NO-SE, espaçadas de 300 metros em 300 metros.

FIGURA 3 – ÁREAS DE EXECUÇÃO DOS LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS.



O levantamento foi autorizado pela Autoridade Marítima (Centro de Hidrografia da Marinha – CHM) através da Autorização nº 112/24 – Categoria "B", conforme consta no ANEXO 1 – AUTORIZAÇÃO Nº 112/24 – MARINHA DO BRASIL, sendo observados todos os requisitos e orientações técnicas constantes da NORMAN nº 501/DHN.

Todos os pontos coletados apresentam coordenadas planiméticas determinadas em um sistema geocêntrico de referência unificado para o território sul americano, utilizado inclusive pela Marinha do Brasil. O referencial planimétrico adotado foi o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000). O referencial altimétrico apresentado nos resultados corresponde ao Nível de Redução (NR) definido na Ficha F-41 nº 60100 (Guaratuba Iate Clube), a qual é apresentada na íntegra no ANEXO 2 – FICHA MAREGRÁFICA F-41 Nº 60100 (GUARATUBA IATE CLUBE).

Para a determinação das coordenadas planimétricas, foi utilizada a técnica de levantamento geodésico estático por rastreio GNSS, utilizando como base o ponto TS2, e

a determinação das coordenadas transportadas foi realizada utilizando o método cinemático, mais conhecido como técnica RTK (*Real Time Kinematic*).

Para a determinação das altitudes da base e consequentemente dos pontos rastreados pelo método de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*), foi efetuado o transporte da altitude ortométrica de uma referência de nível conhecida homologada pela DHN até o ponto TS2. Para isso, foi aplicado o método de Nivelamento Geométrico e, posteriormente, o transporte de altitude através de rastreio GNSS (*Global Navigation Satellite System*), por meio do método cinemático.

Nos levantamentos, foram empregados os seguintes equipamentos:

- 1 (um) Ecobatímetro Monofeixe na frequência de 200 kHz;
- 1 (um) DGPS Hemisphere;
- 1 (um) marégrafo de pressão;
- 1 (um) par de receptores GNSS Stonex S850A (L1-L2-L5) com antena UHF interna;
- 1 (um) bastão para receptor GNSS de 2,20 metros;
- 1 (um) tripé de alumínio para receptor GNSS;
- 1 (uma) base nivelante para receptor GNSS;
- 1 (um) Nível Digital ZDL700;
- 1 (uma) Régua Estadimétrica auto retrátil de 4 (quatro) metros de alumínio;
- 1 (um) nível de cantoneira;
- 1 (uma) trena de alumínio;
- 1 (um) Drone DJI Mavic Air 2S;
- 1 (um) Notebook de bordo; e
- 2 (duas) embarcações de apoio aos levantamentos, inscritas na Capitania dos Portos local, assim como sua tripulação.

Além destes equipamentos, foram operados os seguintes softwares:

- Hypack – para navegação, aquisição e processamento de dados batimétricos;
- Agisoft Metashape – para o aerolevantamento;
- AutoCad – para edição de plantas e desenhos, em formato CAD compatível;
- PACMARE – para processamento dos dados maregráficos; e
- Pacote Office – para a elaboração do Relatório Final.

Da FIGURA 4 até a FIGURA 6, são apresentados registros fotográficos dos serviços executados.

FIGURA 4 – INSTALAÇÃO DA BASE TS02 (ESQUERDA) E INSTALAÇÃO DA RÉGUA DE MAREGRAFIA (DIREITA).





FIGURA 5 – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.





FIGURA 6 – LEVANTAMENTO DE SEÇÕES DE PRAIA.



Para auxiliar nos levantamentos, foram materializados e rastreados pontos de base na região: um dentro do Iate Clube de Guaratuba (TS01), onde também foi instalado um marégrafo; um na Praia Central (TS02); e um na praia de Caieiras (TS03). Esses pontos foram estrategicamente posicionados próximos ao centro de cada área de estudo, para garantir uma comunicação eficiente com o *rover* (receptor móvel) através da transmissão de rádio UHF.

Além disso, nas adjacências do ponto TS01, está localizada a Estação Maregráfica Guaratuba Iate Clube (F-41 nº 60100), a qual foi utilizada como referência altimétrica para os levantamentos realizados. A FIGURA 8 ilustra a localização dos pontos auxiliares materializados, cujas monografias são apresentadas no ANEXO 3 – MONOGRAFIAS DAS BASES GEODÉSICAS, sendo que o campo “Altitude Nível de Redução” corresponde à somatória da Altitude Ortométrica Normal (Nível Médio dos Mares) com o Nível de Redução indicado na ficha F-41 nº 60100 (corrigido no pós-processamento).

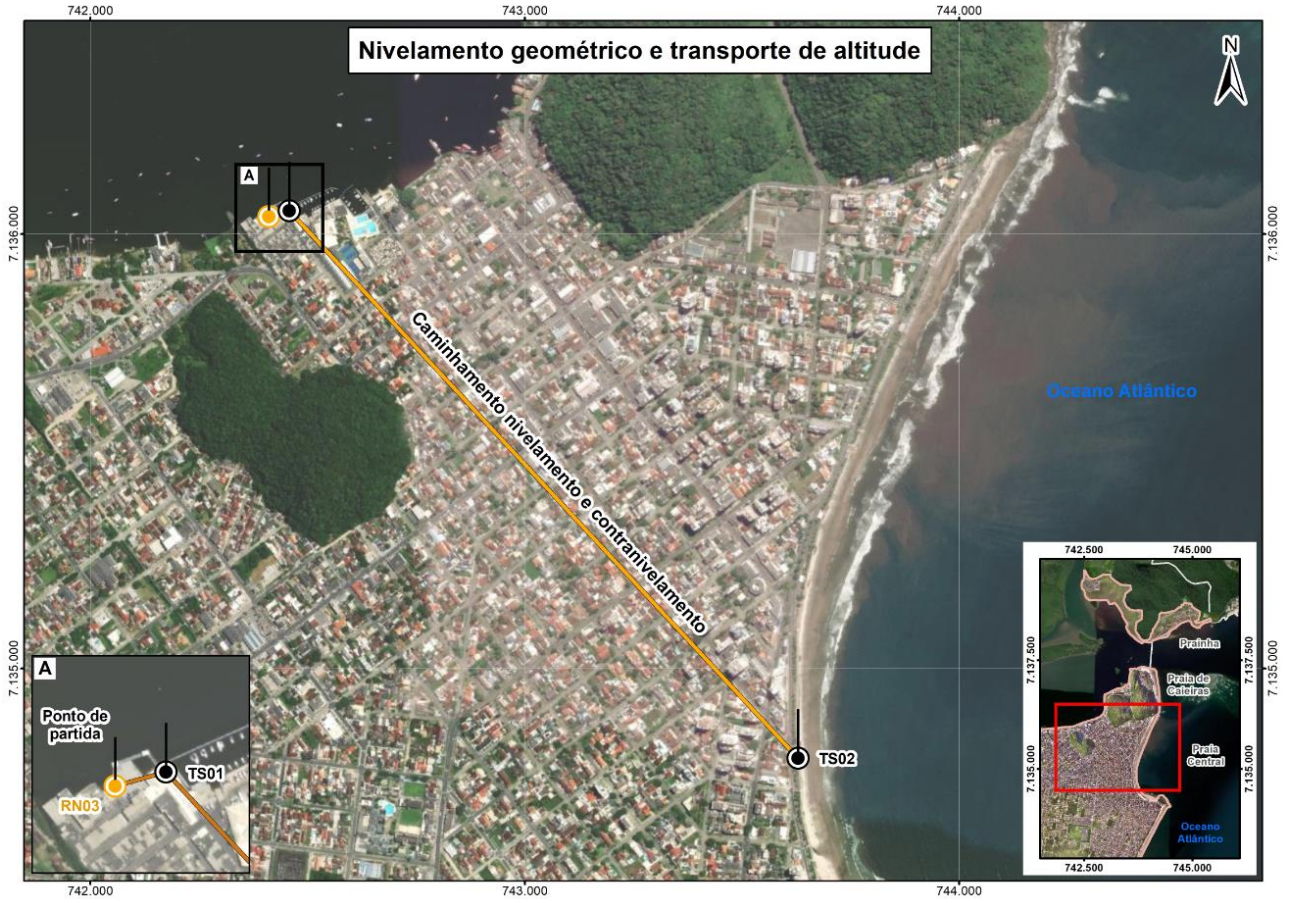
O ponto TS01 foi correlacionado com a RN3 da DHN, apresentada na ficha da estação maregráfica F-41 nº 60100, com Nivelamento Geométrico e Contranivelamento (FIGURA 7) utilizando o método das Visadas Iguais, o qual também foi rastreado por três horas para estudo da diferença de níveis. Neste ponto TS01, foi instalado um marégrafo, o qual também foi objeto de Nivelamento Geométrico a partir da RN3 para o topo da régua. Posteriormente, foi realizado o prolongamento do Nivelamento Geométrico da RN3 até o ponto TS02, conforme apresentado na TABELA 1, que resultou num desnível entre o ponto

TS02 e RN3 de 1,046 m. Em seguida, foi realizado o transporte de altitudes através do rastreio simultâneo dos receptores GNSS entre o ponto TS02 e TS03.

TABELA 1 – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO DO PONTO DE BASE TS02.

Ponto	Cota/Altitude (m)	Ré (m)	Vante (m)	Plano da Luneta (m)	Prox Cota/Alt	DN (m)
Nivelamento						
TS02	3,818	1,562	1,685	5,38	3,695	-0,123
2	3,695	3,153	1,554	6,848	5,294	1,599
3	5,294	1,768	1,271	7,062	5,791	0,497
4	5,791	1,65	1,552	7,441	5,889	0,098
5	5,889	1,664	1,573	7,553	5,98	0,091
6	5,98	1,16	2,314	7,14	4,826	-1,154
7	4,826	1,357	1,767	6,183	4,416	-0,410
8	4,416	1,276	1,229	5,692	4,463	0,047
9	4,463	2,099	1,969	6,562	4,593	0,130
10	4,593	0,617	1,993	5,21	3,217	-1,376
11	3,217	1,132	1,532	4,349	2,817	-0,400
12	2,817	1,149	1,204	3,966	2,762	-0,055
RN3	2,762	1,434	1,424	4,196	2,772	0,010
14	2,772	0,932	1,204	3,704	2,5	-0,272
TS01	2,5	1,445	1,405	3,945	2,54	0,040
Contra Nivelamento						
TS01	2,5	1,145	0,906	3,645	2,739	0,239
RN3	2,739	1,305	1,267	4,044	2,777	0,038
3	2,777	1,554	1,357	4,331	2,974	0,197
4	2,974	2,016	0,638	4,99	4,352	1,378
5	4,352	2,096	1,559	6,448	4,889	0,537
6	4,889	1,055	1,828	5,944	4,116	-0,773
7	4,116	1,558	1,345	5,674	4,329	0,213
8	4,329	1,635	1,398	5,964	4,566	0,237
9	4,566	2,222	0,853	6,788	5,935	1,369
10	5,935	1,487	1,618	7,422	5,804	-0,131
11	5,804	1,605	1,592	7,409	5,817	0,013
12	5,817	1,248	1,546	7,065	5,519	-0,298
13	5,519	1,487	2,336	7,006	4,67	-0,849
14	4,67	0,608	1,353	5,278	3,925	-0,745
TS02	3,925	1,336	1,476	5,261	3,785	-0,140

FIGURA 7 – CAMINHAMENTO DO NIVELAMENTO E CONTRANIVELAMENTO.



Os dados das altitudes dos pontos de referência rastreados por GNSS foram processados através do site do IBGE, utilizando a técnica de processamento PPP (Posicionamento por Ponto Preciso). Também foram obtidas as altitudes dos mesmos pontos através de nivelamento geométrico partindo da RN03 da ficha F-41. A diferença entre as altitudes obtidas com os dois métodos foi de 0,778 m. Portanto, para qualquer outro ponto rastreado e processado através do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro), sua cota correspondente referenciada ao NR da Ficha F-41 nº 60100 estará 0,778 m acima do Valor da Altitude Normal (referenciada ao nível médio dos mares) de Imbituba/SC.

A FIGURA 8 apresenta a localização dos três pontos materializados em campo e rastreados através das metodologias supracitadas.

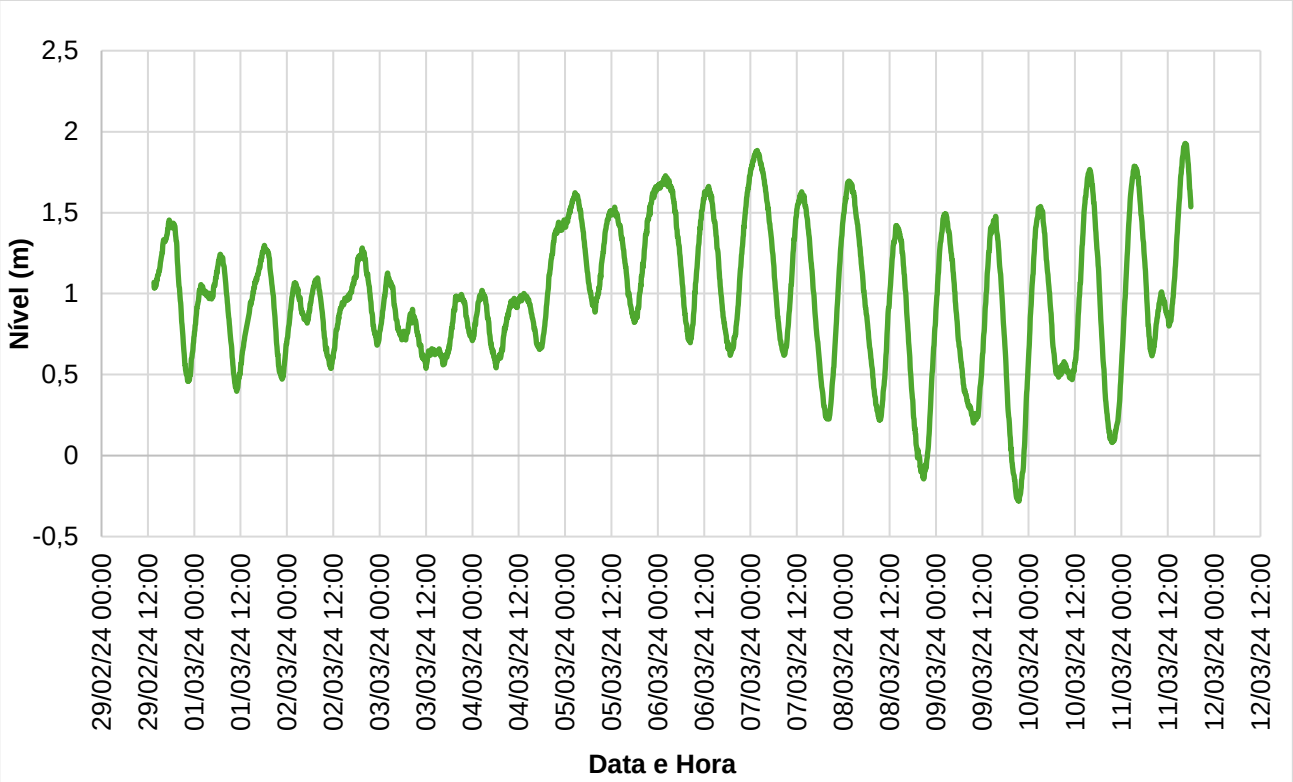
FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AUXILIARES MATERIALIZADOS EM CAMPO.



Conforme explanado anteriormente, foi instalado um marégrafo de pressão nas imediações do ponto TS01, com o objetivo de registrar as variações locais de maré e permitir a posterior amarração das cotas topográficas e batimétricas.

O monitoramento dos dados de maré ocorreu no período de 29/02/2024 a 11/03/2024. Os resultados de variação de maré, já editados e reduzidos, são apresentados na FIGURA 9. Observa-se que a amplitude máxima de variação da maré no período foi de 2,2 metros. Esses dados são fundamentais para corrigir as profundidades medidas pelo ecobatímetro, referenciando-as ao NR no pós-processamento.

FIGURA 9 – MONITORAMENTO DA VARIAÇÃO DE MARÉ.



5.2 TOPOGRAFIA E AEROLEVANTAMENTOS

Nas áreas emersas das praias de Guaratuba, foram executados levantamentos geodésicos. Os levantamentos consistiram em seções transversais a cada 100 metros de praia.

Conforme explanado na seção anterior, a determinação das coordenadas planialtimétricas foi realizada através do rastreamento de três pontos de base, nominados como TS01, TS02 e TS03.

Para garantir a compatibilização dos dados entre o Levantamento Batimétrico e o Levantamento Geodésico, é essencial utilizar a mesma referência altimétrica. Assim, todas

as altitudes obtidas no levantamento geodésico foram referenciadas ao Nível de Redução estabelecido pela Marinha do Brasil, conforme especificado na ficha F-41 nº 60100 (Iate Clube Guaratuba).

Ademais, foram realizados aerolevantamentos com o emprego de um Drone DJI Mavic Air 2S. Foi necessária a definição de pontos de controle em terra, ou GCP (*Ground Check Points*), materializados fisicamente, para georreferenciar o ortofotomosaico. A distribuição espacial dos pontos de controle é ilustrada na FIGURA 10. Os alvos físicos fotoidentificáveis foram distribuídos em pontos estratégicos, adotando como base o ponto TS02 para aquisição dos pontos de controle na Praia Central, bem como o ponto TS03 para aquisição dos pontos de controle em Caieiras, Prainha e Praia Mansa.

FIGURA 10 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE APOIO AEROFOTOGRAMÉTRICOS.



Após a captura, as imagens foram submetidas a um rigoroso processamento aerofotogramétrico, que envolveu técnicas de correção geométrica, mosaico e ortorretificação. Esse processo garantiu ortofotos com resolução de distância de amostragem do solo com 3,3 cm e precisão planimétrica na ordem centimétrica,

proporcionando uma qualidade satisfatória para os produtos cartográficos gerados e fornecendo uma representação visual precisa das áreas estudadas.

A fim de detalhar e complementar as informações topográficas dos perfis das praias de Guaratuba, foram utilizados os dados obtidos pelo levantamento aerofotogramétrico, ajustados à rede de dados altimétricos determinados por nivelamento geométrico e levantamentos geodésicos.

Para a elaboração do modelo tridimensional digital do terreno das partes emersas das praias, foram utilizadas as imagens brutas das fotografias aéreas, as quais foram georreferenciadas pelo método de aerotriangulação pós processada GNSS. Após as fotografias serem alinhadas e associadas aos pontos de apoio terrestre, foi então elaborada uma nuvem de pontos (FIGURA 11).

FIGURA 11 – PARTE DA NUVEM DE PONTOS LOCALIZADA NA PRAIA CENTRAL.



O próximo passo foi a elaboração do modelo digital de superfície (DSM), que é a base para a criação do modelo digital do terreno. Foram realizadas filtragens sobre o modelo digital de superfície, removendo entidades móveis que estavam sobre a superfície da areia, como barracas, pessoas e guarda-sóis, a fim de gerar a modelagem tridimensional do terreno (FIGURA 12).

FIGURA 12 – PROCESSO DE FILTRAGEM DE MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE DA ÁREA EMERSA, PARA MODELO DIGITAL DO TERRENO. LADO ESQUERDO MDS, LADO DIREITO MDT.



Após a filtragem da nuvem de pontos, foi realizada a triangulação de Delaunay para a geração da superfície tridimensional da área emersa, a qual é utilizada para os cálculos de volume de engorda e projetos de infraestrutura. A FIGURA 13 ilustra um trecho da superfície criada.

FIGURA 13 – MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DA ÁREA EMERSA.



5.3 INTEGRAÇÃO DA BATIMETRIA E TOPOGRAFIA

Por fim, procedeu-se à integração de todos os dados obtidos por meio do processamento dos levantamentos batimétricos, dos levantamentos dos perfis de praia e das nuvens de pontos dos levantamentos aerofotogramétricos. Essa integração envolveu a combinação das profundidades obtidas na batimetria com os pontos coletados dos perfis de praia utilizando o RTK (*Real Time Kinematic*), juntamente com os pontos derivados das imagens georreferenciadas, efetuando-se a correção altimétrica de acordo com a ficha F-41 nº 60100 para referenciamento ao Nível de Redução.

Desta forma, são apresentadas as plantas de batimetria e topografia no ANEXO 4 – PLANTAS DE BATIMETRIA E TOPOGRAFIA.

A FIGURA 14 ilustra os limites espaciais de cada tipo de levantamento executado e indica a localização dos perfis de praia medidos.

A FIGURA 15 ilustra a localização dos pontos de sondagem topobatimétrica levantados com ecobatímetro nas áreas submersas e com o drone nas áreas emersas, demonstrando a resolução espacial dos dados coletados.

FIGURA 14 – ÁREAS CONTEMPLADAS PELOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS.

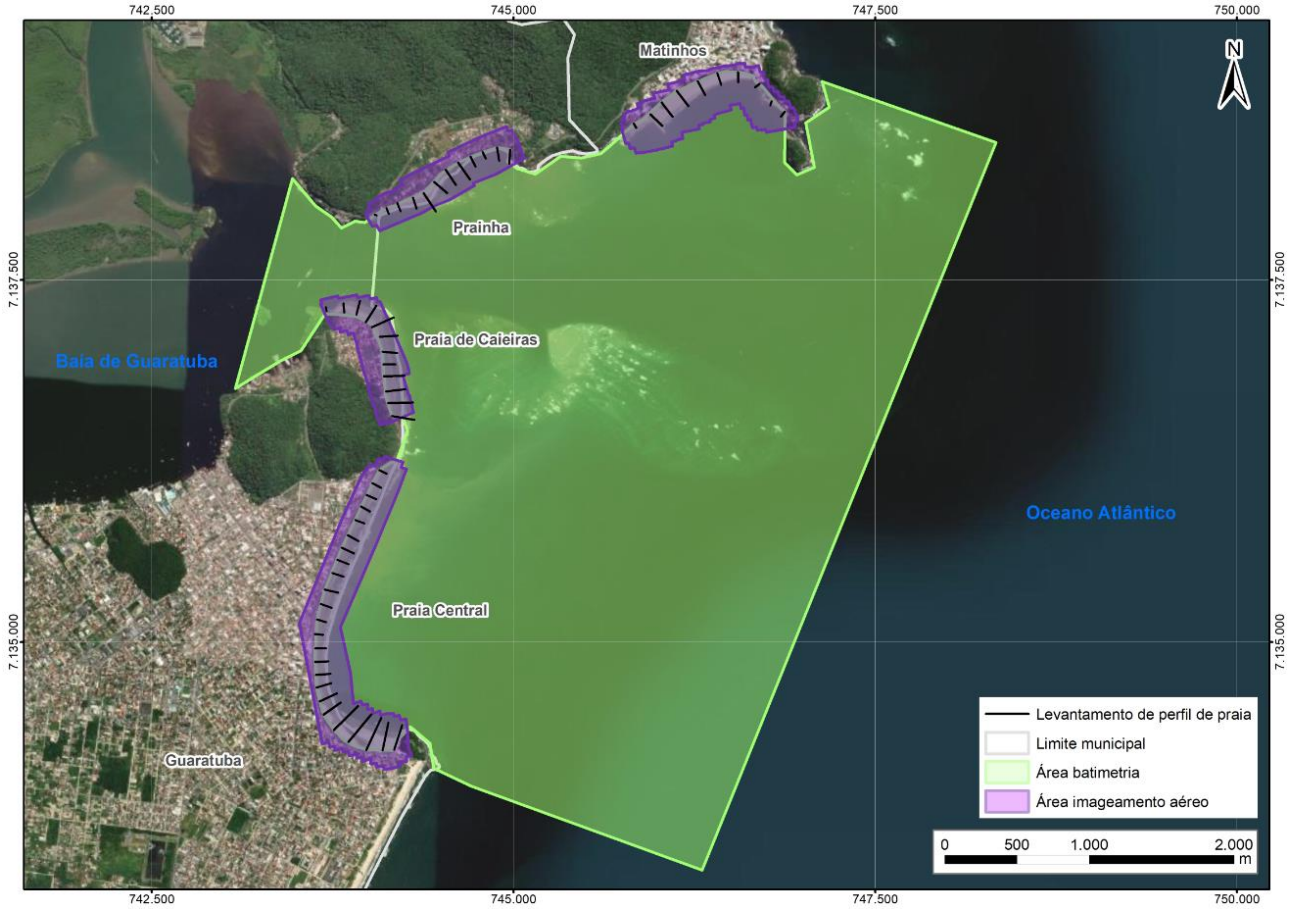
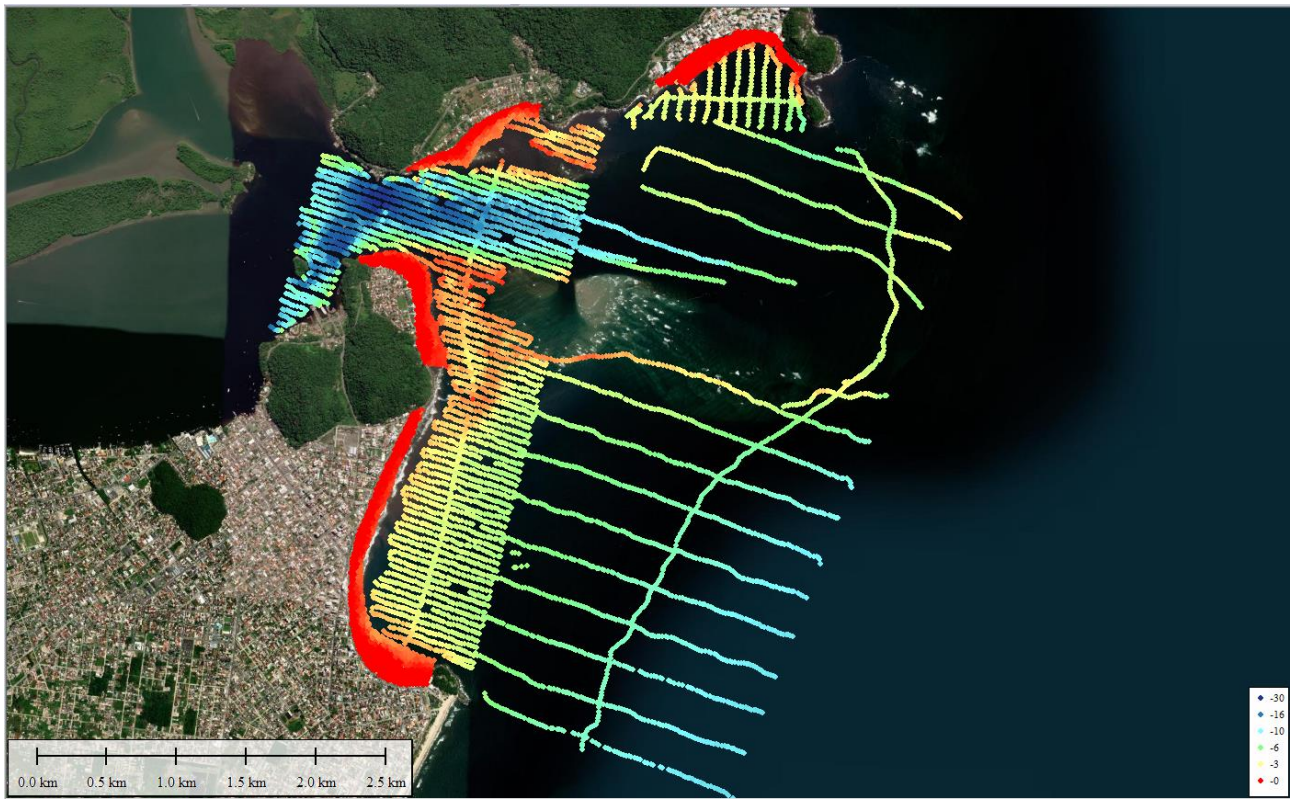


FIGURA 15 – PONTOS TOPOBATIMÉTRICOS LEVANTADOS.



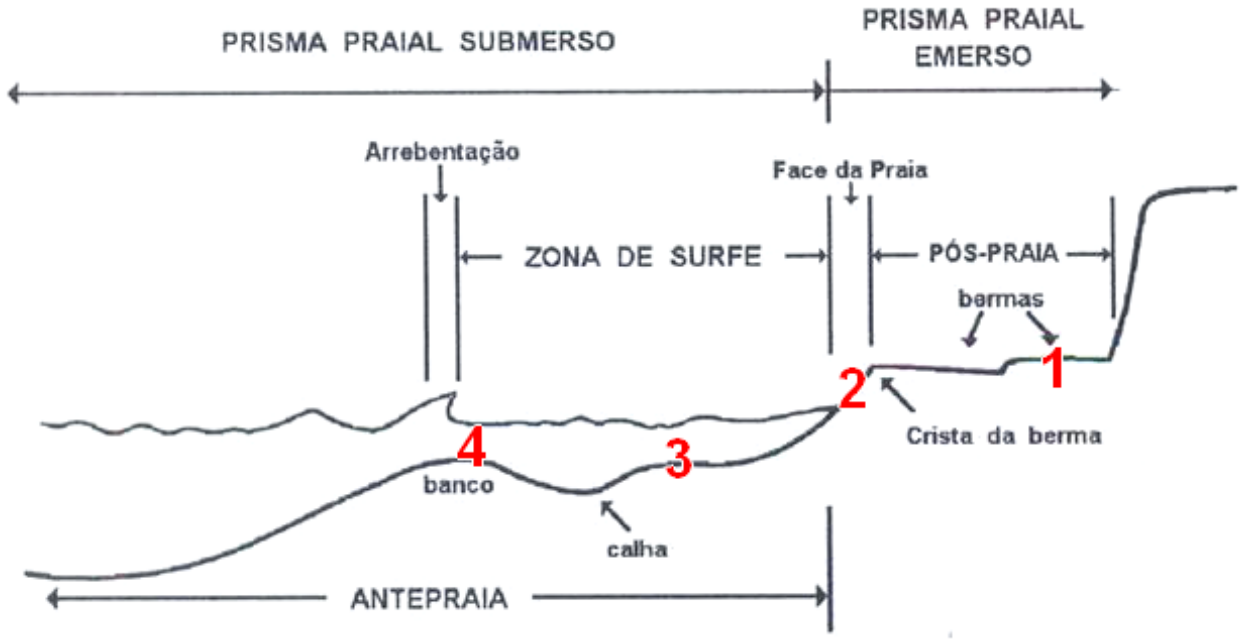
6 LEVANTAMENTOS SEDIMENTOMÉTRICOS

O alargamento de faixa de praia ou “engorda” artificial de praia, tecnicamente conhecido como aterro artificial de praia, é uma obra de engenharia para proteção costeira, para evitar ou reduzir a erosão da linha de costa. A técnica consiste na colocação artificial de areia, preferencialmente de mesma granulometria e densidade do material original da praia. Com esse propósito, o levantamento das características e propriedades dos sedimentos é fundamental para alcançar resultados positivos.

A análise granulométrica permite avaliar os diâmetros das partículas de sedimentos. Assim, é possível avaliar a compatibilidade entre os sedimentos da jazida de empréstimo (em área oceânica distante da costa) e os sedimentos existentes nas faixas de praia (Central, Caieiras e Prainha).

Em fevereiro de 2024, foram coletadas amostras de sedimentos nas 3 faixas de praias de Guaratuba. As coletas foram realizadas nos dias 24/02/2024 (Praia Central), 25/02/2024 (Caieiras) e 26/02/2024 (Prainha), em perfis transversais de praia com espaçamento de aproximadamente 200 m entre cada perfil. Foram coletadas 4 amostras por perfil, buscando-se contemplar uma área representativa do perfil (pós-praia, estirâncio, zona de arrebentação e ante praia), conforme ilustrado na FIGURA 16.

FIGURA 16 – PERFIL DE PRAIA ESQUEMÁTICO COM INDICAÇÃO DOS 4 PONTOS DE COLETA DE SEDIMENTOS.



Além das amostragens realizadas nas faixas de praia, também foram coletados sedimentos na parte oceânica, visando prospectar áreas de jazidas compatíveis para o fornecimento de areia para as obras de engordamento. Essas coletas foram realizadas em duas campanhas: em fevereiro/2025 e abril/2025.

6.1 LOCALIZAÇÃO DAS AMOSTRAGENS

Foram coletadas 94 amostras de sedimentos nas faixas de praia (48 na Praia Central, 24 em Caieiras e 22 na Prainha), das quais 42 amostras foram selecionadas e submetidas a análise granulométrica laboratorial. A localização dos pontos de coleta é apresentada na FIGURA 17. As coordenadas das amostras que foram analisadas em laboratório são indicadas no QUADRO 2.

Para codificar as amostras, foi adotada uma nomenclatura que consiste na seguinte ordem “Seção transversal – Praia – Número da coleta de areia”, de acordo com os critérios:

- A seção inicial em cada praia é sempre nominada como S0, seguindo para S1 até alcançar o fim da faixa de areia de cada praia;
- A, B e C indicam a praia a qual pertence cada amostra, sendo que a praia Central foi classificada como “A”, a praia de Caieiras como “B” e a Prainha recebeu a classificação “C”;
- 1, 2, 3 ou 4 indicam qual a posição da coleta ao longo do perfil de praia, conforme a FIGURA 16.

QUADRO 2 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS ANALISADOS EM LABORATÓRIO.

#	Amostra	UTM E	UTM N
	Praia Central		
1	S1A-1	743.983,41	7.134.254,59
2	S1A-2	744.027,16	7.134.396,84
3	S1A-3	744.038,29	7.134.420,96
4	S1A-4	744.086,19	7.134.475,50
5	S4A-1	743.632,98	7.134.772,74
6	S4A-2	743.688,86	7.134.772,49
7	S4A-3	743.722,21	7.134.778,12
8	S4A-4	743.734,61	7.134.779,85
9	S7A-1	743.695,37	7.135.361,99
10	S7A-2	743.724,44	7.135.359,04
11	S7A-3	743.767,45	7.135.346,61
12	S7A-4	743.788,61	7.135.339,85
13	S9A-1	743.854,35	7.135.736,21
14	S9A-2	743.877,57	7.135.724,17
15	S9A-3	743.905,19	7.135.710,78
16	S9A-4	743.927,10	7.135.697,40

#	Amostra	UTM E	UTM N
17	S11A-1	744.024,02	7.136.096,69
18	S11A-2	744.049,21	7.136.083,73
19	S11A-3	744.075,70	7.136.068,94
20	S11A-4	744.083,19	7.136.064,24
Caieiras			
21	S1B-1	744.119,57	7.136.730,11
22	S1B-2	744.202,13	7.136.742,90
23	S1B-3	744.221,53	7.136.745,38
24	S1B-4	744.251,56	7.136.744,24
25	S3B-1	744.075,64	7.137.106,50
26	S3B-2	744.096,89	7.137.109,76
27	S3B-3	744.154,86	7.137.113,00
28	S3B-4	744.197,04	7.137.115,08
29	S4B-1	743.979,57	7.137.208,27
30	S4B-2	744.004,15	7.137.260,82
31	S4B-3	744.023,01	7.137.285,08
32	S4B-4	744.051,37	7.137.320,28
Prainha			
33	S0C-1	744.042,50	7.137.948,95
34	S0C-2	744.053,77	7.137.945,14
35	S2C-1	744.378,32	7.138.097,18
36	S2C-2	744.405,37	7.138.066,99
37	S2C-3	744.440,95	7.138.024,55
38	S2C-4	744.462,91	7.137.972,13
39	S4C-1	744.702,32	7.138.350,23
40	S4C-2	744.704,80	7.138.345,55
41	S4C-3	744.723,29	7.138.306,20
42	S4C-4	744.737,31	7.138.282,77

Na área oceânica, foram coletadas 44 amostras de sedimentos, cujas localizações são indicadas no QUADRO 3 e FIGURA 19.

QUADRO 3 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS COLETADOS EM ÁREA MARÍTIMA.

N.º	Ponto	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	Profundidade do leito (m)
01	A1	746.960	7.136.245	2,30
02	A2	747.667	7.136.246	6,00
03	A6	746.961	7.135.538	7,00
04	A3-A7	747.667	7.135.539	9,50
05	A3-22A	747.314	7.135.892	6,50
06	A3-B3	748.374	7.136.246	8,50
07	A3-B8	748.374	7.135.539	10,20
08	A3-B23	748.021	7.135.892	9,80
09	A3-C4	749.081	7.136.246	10,50
10	A3-C9	749.081	7.135.539	10,50
11	A3-C24	748.728	7.135.892	10,40

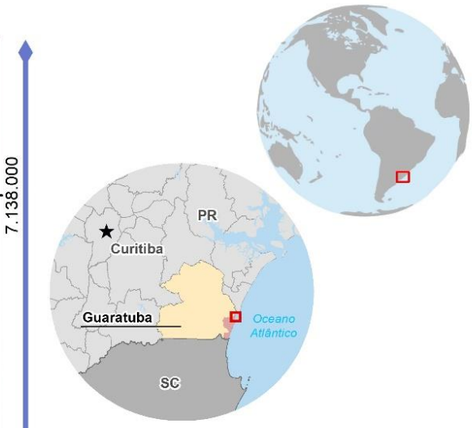
N.º	Ponto	UTM-X (m)	UTM-Y (m)	Profundidade do leito (m)
12	A3-D5	749.788	7.136.246	11,50
13	A3-D10	749.788	7.135.539	11,00
14	A3-D25	749.435	7.135.893	11,50
15	A3-E11	746.961	7.134.831	10,10
16	A3-E12	747.668	7.134.831	11,20
17	A3-E26	747.314	7.135.185	10,10
18	A3-01	750.095	7.135.829	11,30
19	A3-F13	748.374	7.134.832	11,60
20	A3-F27	748.021	7.135.185	10,80
21	A3-G28	748.728	7.135.185	10,50
22	A3-G14	749.099	7.134.848	12,00
23	A3-H15	746.961	7.134.124	10,20
24	A3-H16	747.668	7.134.124	11,15
25	A3-H29	747.314	7.134.478	10,30
26	A3-I30	748.021	7.134.478	11,40
27	A3-J17	748.375	7.134.125	12,20
28	A3-J18	749.082	7.134.125	13,00
29	A3-J31	748.728	7.134.478	11,80
30	A3-K19	746.961	7.133.417	10,20
31	A3-K32	747.314	7.133.771	10,10
32	A3-L20	747.668	7.133.417	10,70
33	A3-L21	748.375	7.133.417	12,60
34	A3-L33	748.021	7.133.771	11,70
35	A5-1	747.490	7.131.377	12,80
36	A5-3	747.032	7.130.482	12,70
37	A5-3	747.951	7.130.072	12,90
38	A5-4	748.375	7.130.953	12,60
39	A2-1	752.290	7.138.860	12,20
40	A2-2	751.953	7.138.487	12,40
41	A2-5	751.844	7.138.073	12,50
42	A4-3	751.473	7.137.251	12,10
43	A4-6	751.226	7.136.964	12,30
44	A4-2	750.798	7.136.572	12,50

FIGURA 17 – AMOSTRAS DE SEDIMENTOS COLETADAS NAS FAIXAS DE PRAIAS.



ID	Nome	Altitude (m)
1	S0-A-1	0,361
2	S0-A-2	-1,626
3	S0-A-3	-2,154
4	S0-A-4	-2,281
5	S1-A-1	-0,275
6	S1-A-2	-1,804
7	S1-A-3	-2,136
8	S1-A-4	-2,354
9	S2-A-1	0,832
10	S2-A-2	-1,02
11	S2-A-3	-2,197
12	S2-A-4	-2,793
13	S3-A-1	0,157
14	S3-A-2	-1,031
15	S3-A-3	-1,99
16	S3-A-4	-2,79
17	S4-A-1	0,318
18	S4-A-2	-1,665
19	S4-A-3	-1,813
20	S4-A-4	-2,753
21	S5-A-1	0,465
22	S5-A-2	-0,536
23	S5-A-3	-1,578
24	S5-A-4	-1,937
25	S6-A-1	0,674
26	S6-A-2	0,493
27	S6-A-3	-1,227
28	S6-A-4	-2,07
29	S7-A-1	0,652
30	S7-A-2	1,133
31	S7-A-3	-1,316
32	S7-A-4	-1,983
33	S8-A-1	0,229
34	S8-A-2	-0,785
35	S8-A-3	-1,216
36	S8-A-4	-1,823
37	S9-A-1	0,456
38	S9-A-2	-0,644
39	S9-A-3	-1,279
40	S9-A-4	-1,83
41	S10-A-1	0,932
42	S10-A-2	-0,333
43	S10-A-3	-0,874
44	S10-A-4	-0,944
45	S11-A-1	0,946
46	S11-A-2	-0,252

ID	Nome	Altitude (m)
47	S11-A-3	-0,818
48	S11-A-4	-1,075
49	S0-B-1	-0,746
50	S0-B-2	-1,765
51	S0-B-3	-2,13
52	S0-B-4	-2,038
53	S1-B-1	0,805
54	S1-B-2	-1,507
55	S1-B-3	-2,129
56	S1-B-4	-2,208
57	S2-B-1	0,389
58	S2-B-2	0,414
59	S2-B-3	-1,614
60	S2-B-4	-1,93
61	S3-B-1	0,171
62	S3-B-2	0,497
63	S3-B-3	-0,589
64	S3-B-4	-2,385
65	S4-B-1	0,781
66	S4-B-2	0,699
67	S4-B-3	-0,666
68	S4-B-4	-2,208
69	S5-B-1	0,539
70	S5-B-2	-0,038
71	S5-B-3	-1,772
72	S5-B-4	-2,414
73	S0-C-1	-0,434
74	S0-C-2	-1,509
75	S1-C-1	0,731
76	S1-C-2	0,09
77	S1-C-3	-1,575
78	S1-C-4	-2,45
79	S2-C-1	1,146
80	S2-C-2	0,147
81	S2-C-3	-1,589
82	S2-C-4	-2,228
83	S3-C-1	-0,062
84	S3-C-2	-0,225
85	S3-C-3	-1,773
86	S3-C-4	-2,414
87	S4-C-1	0,391
88	S4-C-2	0,113
89	S4-C-3	-1,773
90	S4-C-4	-2,58
91	S5-C-1	-0,059
92	S5-C-2	-0,79
93	S5-C-3	-1,731
94	S5-C-4	-2,572



Legenda

- Ponto de amostra de sedimentos
- Ponto selecionado para análise
- Limite municipal

Fonte de dados

Pontos de amostras de sedimentos coletados, pontos selecionados para análise - UNILIVRE, 2024;
Limite municipal - IBGE, 2021.

N

0 125 250 500 m

Escala do mapa: 1 : 16.000

1 cm = 160 m

Sistema de Referência: SIRGAS 2000
Projeção Cartográfica: UTM, Fuso 22S
Meridiano Central: 51° W

ANTEPROJETO ORLA DE GUARATUBA

AMOSTRA DE SEDIMENTOS PARA ANALISE

Prefeitura Municipal
UNILIVRE UNIVERSIDADE LIVRE DO MEIO AMBIENTE

FIGURA 18 – AMOSTRAS DE SEDIMENTOS COLETADAS EM ÁREA MARÍTIMA.



6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

6.2.1 Método de Amostragem nas Faixas de Praia

O amostrador utilizado para a coleta de amostras de sedimentos nas faixas de praia consistiu em um tubo de PVC (policloreto de vinila) com êmbolo de sucção. Assim, as coletas referem-se aos primeiros centímetros da camada superficial. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos lacrados e etiquetados, com a identificação do código da amostra (FIGURA 19).

FIGURA 19 – COLETA DE AMOSTRAS DE SEDIMENTOS.





6.2.2 Método de Amostragem na Área Marítima

Para a amostragem dos sedimentos em área marítima foi utilizada uma barra mina e uma Draga de arrasto de Gibbs, além de uma embarcação com sistema GPS e ecobatímetro, que permitiu a navegação até os pontos de interesse previamente determinados em escritório. Os instrumentos utilizados são ilustrados na FIGURA 20.

Inicialmente, a barra mina é baixada desde a borda do barco até o fundo do mar, com hastes rosqueáveis de 2,0 metros, presa a um guincho elétrico, com um ponteiro ao final das hastes, que penetra o leito marinho e permite perceber se a penetração ocorre por

entre sedimentos arenosos, argilosos ou lamosos. Estes últimos mancham de negro as hastes, facilitando o registro dos pontos com lama.

Em seguida, a Draga de arrasto de Gibbs presa por uma corda graduada é baixada até o fundo marinho para realizar a coleta de amostras. Neste caso, foi necessário promover modificações na espessura do aço das paredes da draga de arrasto, para torná-la mais eficiente, além de também promover o afinamento das bordas.

Tanto durante a utilização da barra mina, como com a draga de arrasto, quando se atingia o fundo do mar, realizava-se uma leitura de profundidade no ecobatímetro e outra na corda graduada. Em seguida realizava-se o resgate da draga e a coleta dos sedimentos, os quais eram transferidos para um saco plástico, transparente, reforçado e etiquetado (FIGURA 21 e FIGURA 22).

FIGURA 20 – INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA A PESQUISA MINERAL SOB LÂMINA D'ÁGU: BARRA MINA, AMOSTRADOR DE GIGGS, CORDAME, MOSQUETÕES, SACOS PLÁSTICOS, CÂMERA GOPRO E UM GUINCHO ELÉTRICO.

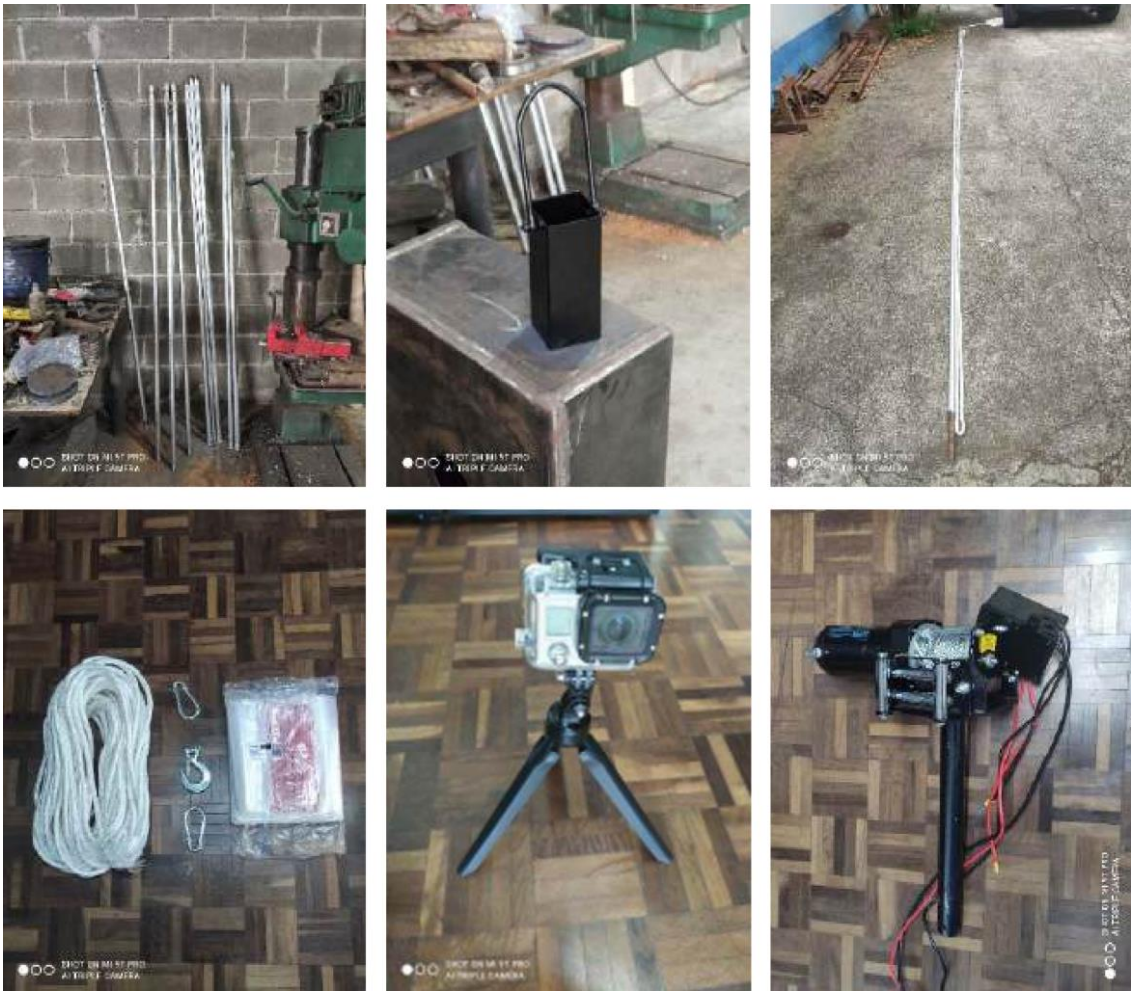


FIGURA 21 – DRAGA DE ARRASTO DE GIBBS, PRESA POR UMA CORDA GRADUADA A CADA METRO, DESCARREGANDO VOLUMES DE AMOSTRAS DE AREIA FINA.



FIGURA 22 – AMOSTRA DE SEDIMENTOS COLETADA COM A UTILIZAÇÃO DA DRAGA DE ARRASTO DE GIBBS, TRANSFERIDA PARA UM SACO PLÁSTICO REFORÇADO.



6.2.3 Métodos de Classificação Granulométrica em Laboratório

A caracterização granulométrica do trecho em estudo foi realizada através dos modelos clássicos propostos por Wright e Short (1984), que têm o objetivo de determinar diferenças entre morfologias de praias. Para isso, foram usados os perfis de praia medidos em conjunto com amostras de sedimento coletadas e tratadas, além de dados da hidrodinâmica local, coletados por observação visual nos dias das medições dos perfis.

As amostragens de sedimentos da antepraia foram realizadas para a aplicação da teoria de perfis de equilíbrio. As amostras da plataforma interna serviram para se ter uma noção preliminar e de baixa consistência sobre as características da granulometria do fundo em locais pontuais pré-determinados.

A coleta de amostras superficiais de sedimento foi realizada utilizando-se um tubo de PVC com êmbolo de sucção. Para o tratamento granulométrico dos sedimentos arenosos, foi utilizado o método de peneiramento, baseado na escala granulométrica de Wentworth (1922), cuja análise foi efetuada segundo intervalos de ½ φ (phi). A escala granulométrica em base φ (phi) utiliza de um artifício matemático que facilita a representação numérica das classes granulométricas, sendo definida por:

$$\boldsymbol{\varphi = -log_2 d} \qquad (1)$$

A incógnita “d” é o diâmetro, em milímetros, dos grãos de sedimento. A partir disto, tem-se as relações entre os diâmetros e a escala “phi”, de acordo com o QUADRO 4.

Os dados obtidos das análises granulométricas foram tratados estatisticamente, utilizando-se as fórmulas sugeridas por Folk e Ward (1957) e através da aplicação do Programa SYSGRAN. Foram calculados os parâmetros: média aritmética, mediana, grau de selecionamento das amostras (desvio-padrão), assimetria e curtose. Não foi realizada eliminação do carbonato biodetrítico.

Durante os procedimentos de laboratório, todas as amostras foram submetidas a secagem em estufa a 60 ºC. Posteriormente, o conteúdo foi homogeneizado e quarteado numa fração de 100 gramas.

Foi adicionado em cada amostra cerca de 0,50 gramas de pirofosfato de sódio ($Na_4P_2O_7$) em balança analítica, para evitar a floculação das mesmas. As amostras foram então dispersas em agitador mecânico VIATEST com água deionizada (entre 7 e 10 minutos). Em seguida, foi constatado que nenhuma amostra apresentava teor de finos em suspensão.

QUADRO 4 – ESCALA GRANULOMÉTRICA SIMPLIFICADA DE WENTWORTH E SUAS CORRELAÇÕES PELO PARÂMETRO “PHI”.

Classe Granulométrica	Diâmetro (mm)	Diâmetro (φ)
GRÂNULOS		
Grânulo	4,00 a 2,83	-2,0 a -1,5
	2,83 a 2,00	-1,5 a -1,0
AREIAS		
Areia Muito Grossa	2,000 a 1,410	-1,0 a -0,5
	1,410 a 1,000	-0,5 a 0
Areia Grossa	1,000 a 0,707	0 a 0,5
	0,707 a 0,500	0,5 a 1,0
Areia Média	0,500 a 0,354	1,0 a 1,5
	0,354 a 0,250	1,5 a 2,0
Areia Fina	0,250 a 0,177	2,0 a 2,5
	0,177 a 0,125	2,5 a 3,0
Areia Muito Fina	0,125 a 0,088	3,0 a 3,5
	0,088 a 0,062	3,5 a 4,0
FINOS		
Silte + Argila	< 0,062	> 4,0
Silte Grosso	0,062 a 0,031	4,0 a 5,0
Silte Médio	0,031 a 0,016	5,0 a 6,0
Silte Fino	0,016 a 0,008	6,0 a 7,0
Silte Muito Fino	0,008 a 0,004	7,0 a 8,0
Argila	< 0,004	> 8,0

FONTE: WENTWORTH (1922).

As amostras foram lavadas sobre uma peneira de abertura 0,062 milímetros (ASTM 230 Mesh/Tyler 250, a última peneira da fração areia). Posteriormente, elas foram novamente secadas em estufa a 60 ºC. Após a secagem, foram peneiradas em peneiras BERTEL entre as malhas Mesh 5 e 325 e agitador VIATEST. Cada porção foi devidamente pesada e determinada a fração granulométrica existente.

As análises granulométricas são feitas pelo método de peneiramento e pipetagem. Os valores do peso inicial e dos pesos de cada classe textural são utilizados para cálculo de parâmetros estatísticos analíticos, através da técnica dos momentos. Os resultados dos parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957), assim como os da distribuição textural, foram plotados no software Excel, e são apresentados na TABELA 5.

Os teores de matéria orgânica presente nos sedimentos são calculados a partir de dez gramas de sedimento queimados em mufla por uma hora a 550°C. Os carbonatos totais foram obtidos a partir da reação de 10 gramas de amostra com ácido clorídrico (HCl) a 10% de volume até o cessamento da reação. Nas duas situações foram descontados o peso final do peso inicial e obtida assim a porcentagem de matéria orgânica e de carbonato de cálcio ($CaCO_3$).

6.2.4 Resultados – Faixas de Praias

As análises granulométricas em laboratório indicam que os sedimentos dos testemunhos obtidos das faixas de praia são compostos unicamente pela fração de areias, sendo predominantes as classes de areia média e areia fina. Não foram observados teores de grânulos e nem de finos.

Nas amostras de sedimentos analisadas, podem ser observadas duas fácies principais. Na parte superior das coletas, ocorre areia fina a média. Estas fácies, provavelmente correspondem às areias que estão sendo retrabalhadas pelas ondas durante eventos de alta energia. Durante estes eventos, os sedimentos mais finos ficam em suspensão e são transportados pelas correntes.

Na parte inferior ocorre areia média, às vezes com evidências de atividade de organismos – bioturbações. Esta fácie ocorre até a base da coleta e eventualmente continua em profundidade. Provavelmente corresponde a sedimentos antigos, marcados por depósitos costeiros praiais e/ou estuarinos, depositados quando o nível do mar era diferente do atual. São sedimentos que, aparentemente, não estão sendo retrabalhados por ondas ou correntes.

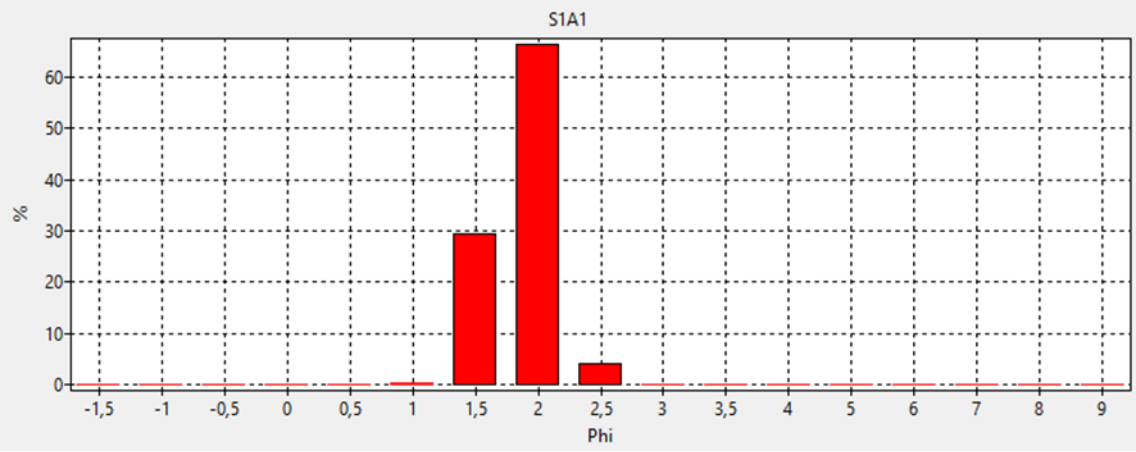
Os resultados das análises granulométricas estão apresentados em detalhes a seguir para cada seção de praia.

A) PRAIA CENTRAL

- Perfil S1A

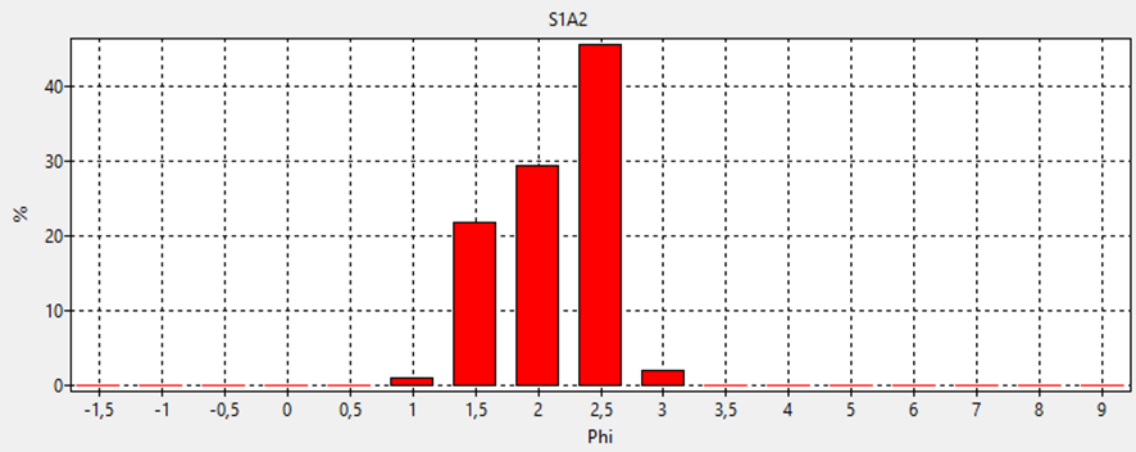
O perfil S1A consiste no primeiro selecionado para análise da Praia Central de Guaratuba, e sua classificação como um todo é de areia média bem selecionada. Na porção mais próxima da costa, seus resultados apresentam um predomínio expressivo da fração de areia média (96%) (TABELA 2). É possível observar um aumento da fração de areia fina na medida que o perfil caminha em direção ao mar, como por exemplo, no segundo ponto do perfil, o qual possui aproximados 47% de areia fina. No restante do trecho as frações de areia fina são da ordem de 30%. Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 23, FIGURA 24, FIGURA 25, FIGURA 26) e ao fim obteve-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 27).

FIGURA 23 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1A1.



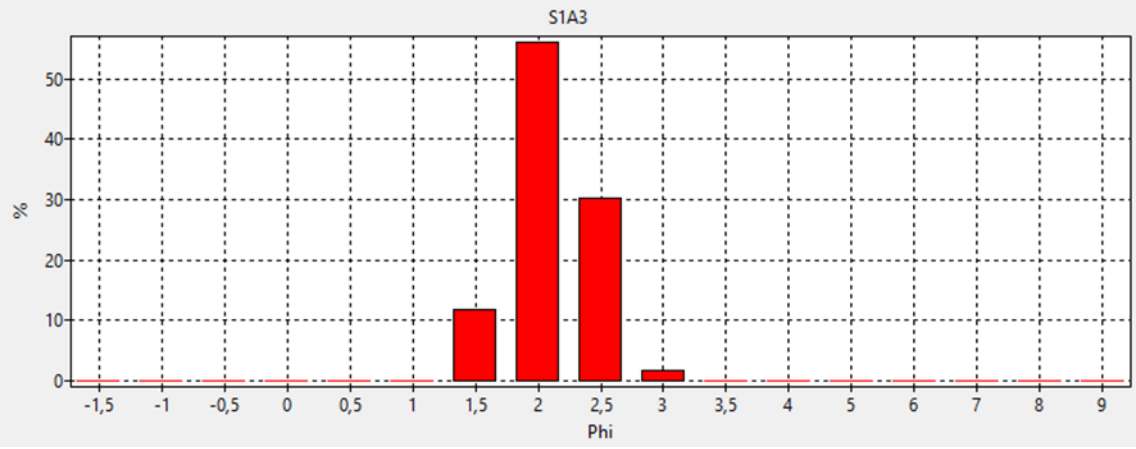
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 24 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1A2.



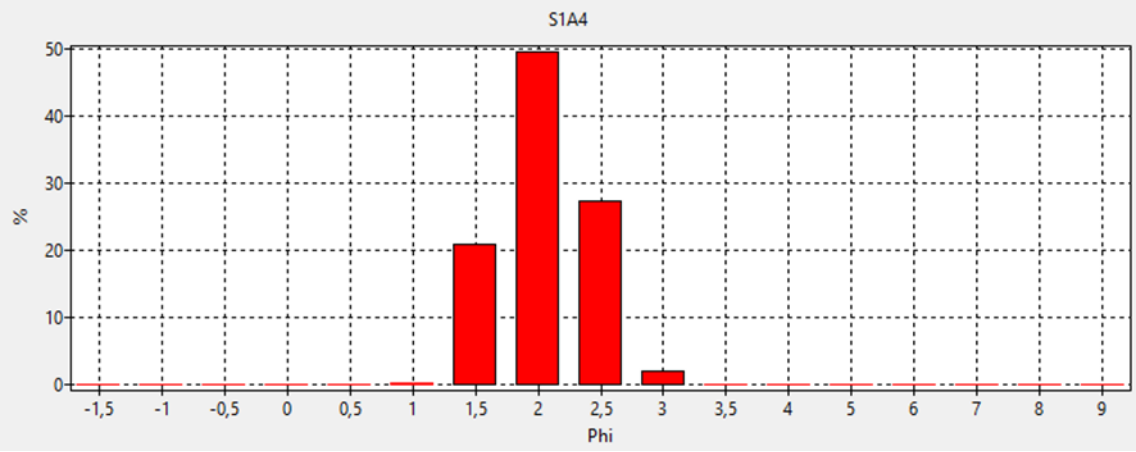
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 25 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1A3.



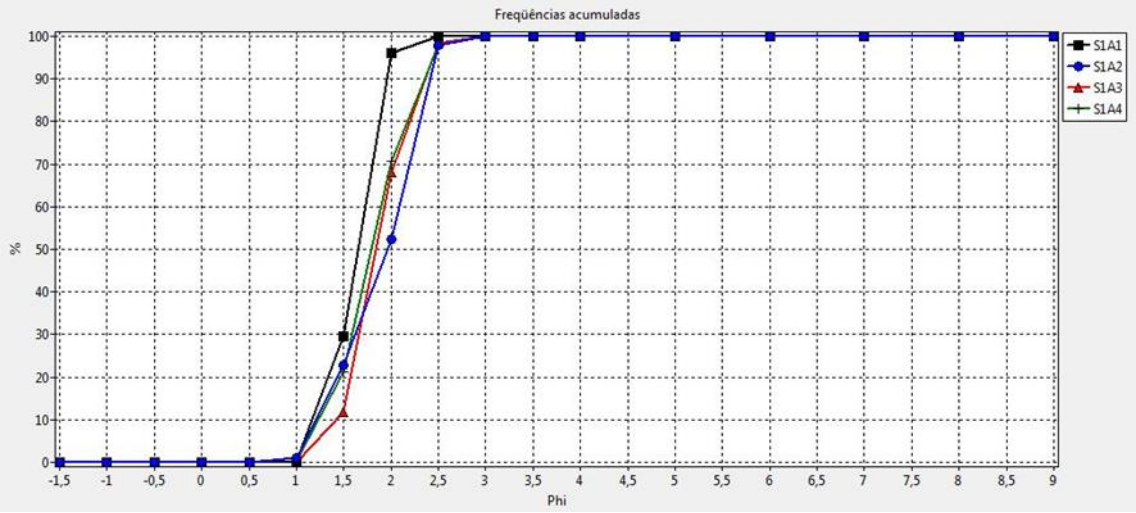
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 26 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1A4.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 27 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S1A.

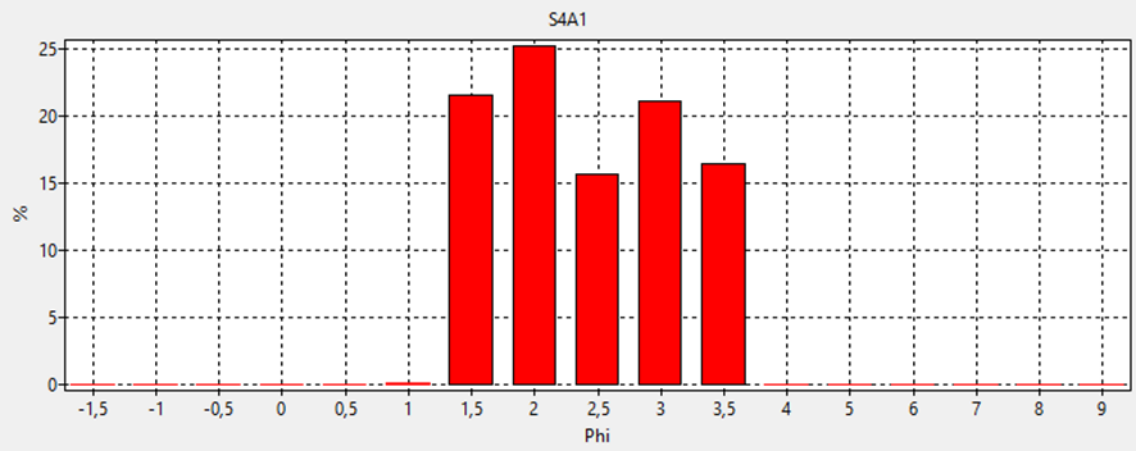


FONTE: UNILIVRE, 2024.

- Perfil S4A

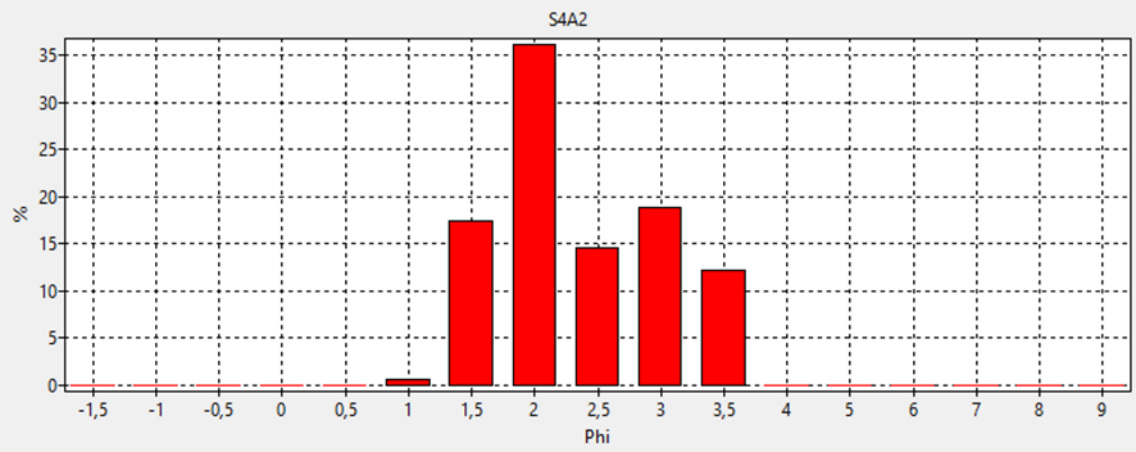
O perfil S4A da Praia Central de Guaratuba foi classificado de modo geral como areia média a fina. Observam-se variações internas no perfil, como a predominância de areia média (47%) no ponto mais próximo da costa, onde a areia fina é da ordem de 37% (TABELA 2). Já no segundo ponto a areia média alcança 54%. Na continuidade do perfil a areia fina predomina. No ponto mais afastado da costa observou-se uma fração significativa de areia muito fina (34%). Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 28, FIGURA 29, FIGURA 30, FIGURA 31) e ao fim obteve-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 32).

FIGURA 28 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4A1.



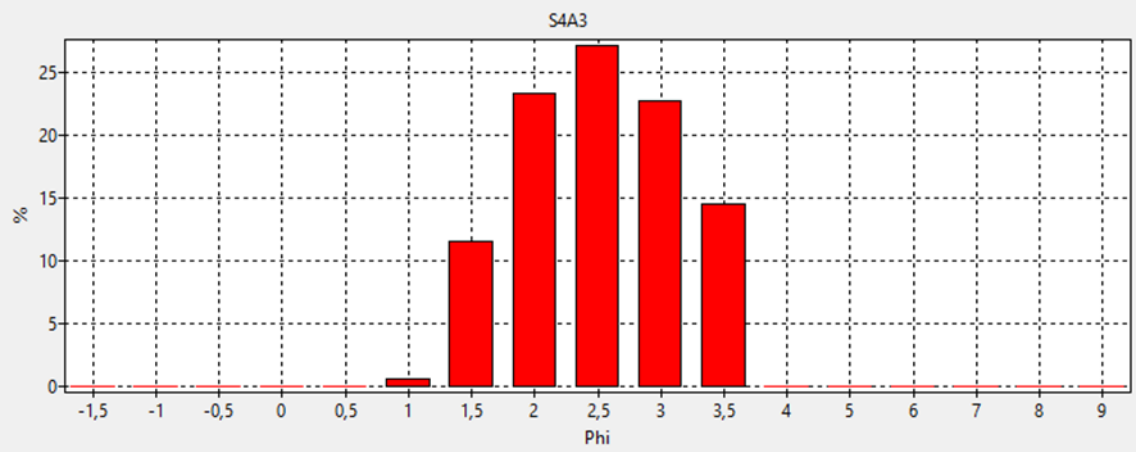
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 29 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4A2.



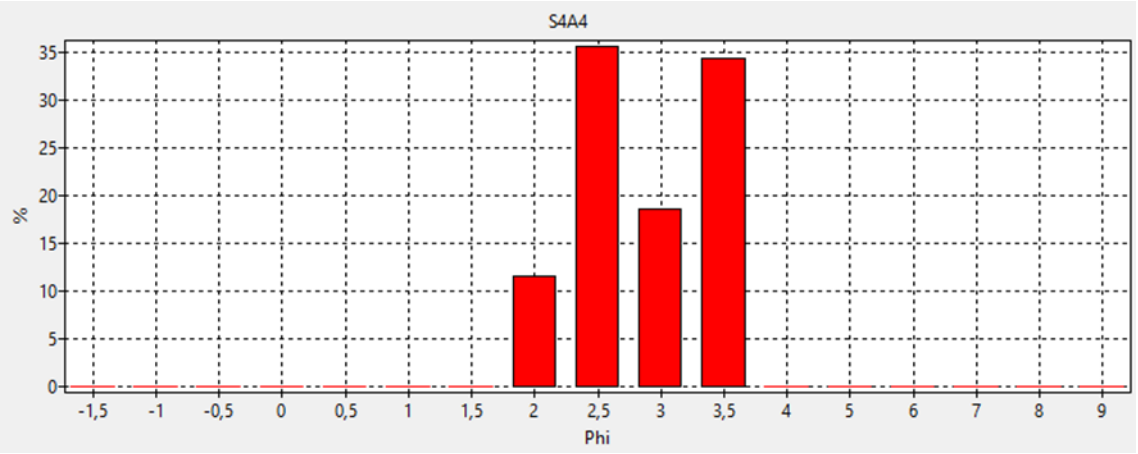
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 30 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4A3.



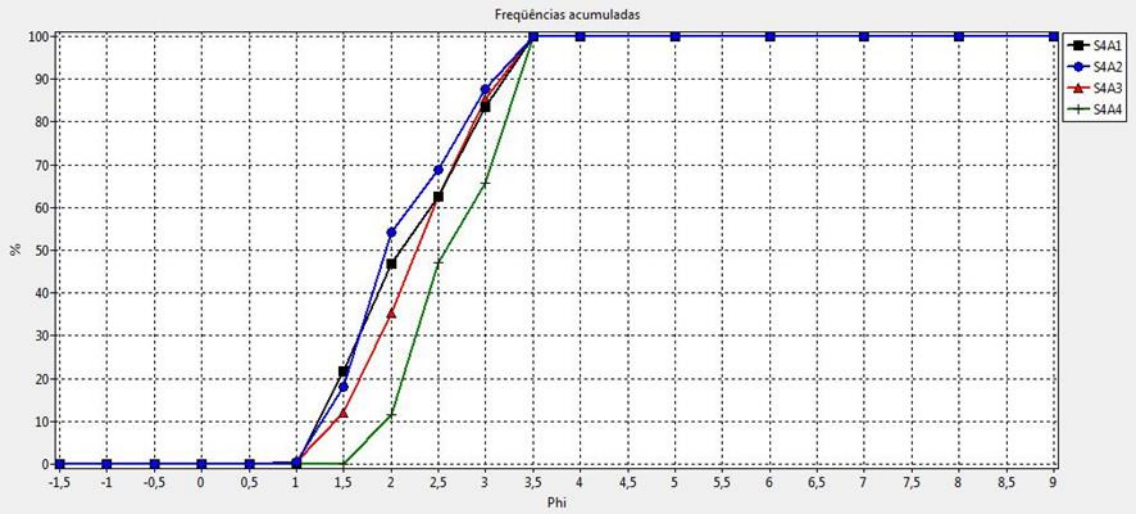
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 31 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4A4.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 32 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S4A.

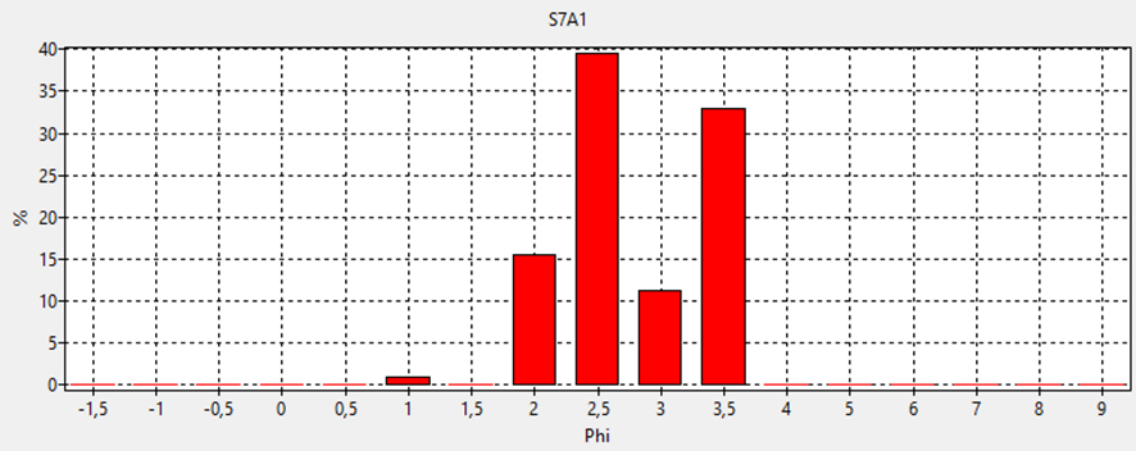


FONTE: UNILIVRE, 2024.

- Perfil S7A

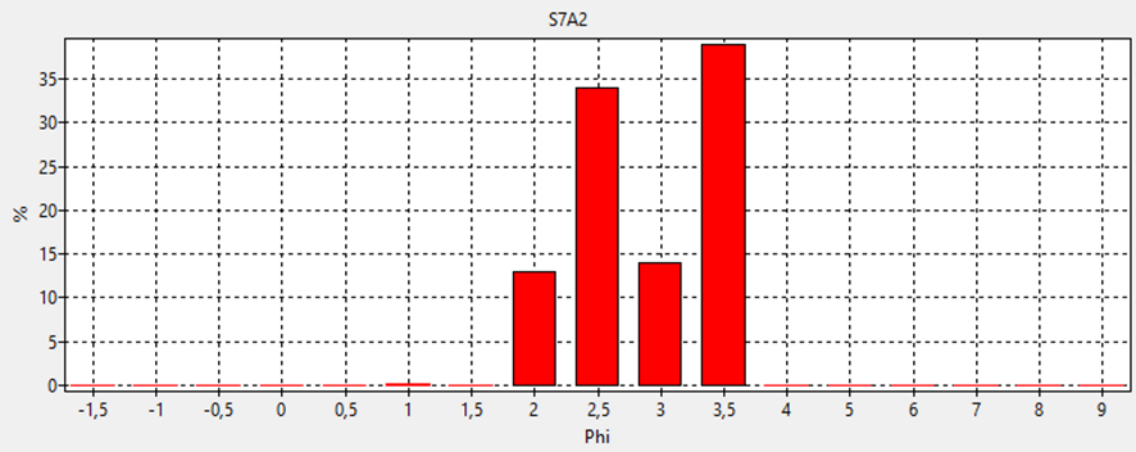
O perfil S7A da Praia Central de Guaratuba é marcado por variações internas, sendo o trecho mais próximo da costa representado pelas frações de areia fina moderadamente selecionada (50%) e de areia muito fina (32%) (TABELA 2). O segundo ponto mantém proporções semelhantes, de 48% e 39%, respectivamente. No terceiro trecho do perfil, a fração de areia média muito bem selecionada aumenta significativamente (92%). No ponto mais afastado da costa há predomínio das frações de areia muito fina e muito bem selecionada (71%). Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 33, FIGURA 34, FIGURA 35, FIGURA 36) e ao fim tem-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 37).

FIGURA 33 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S7A1.



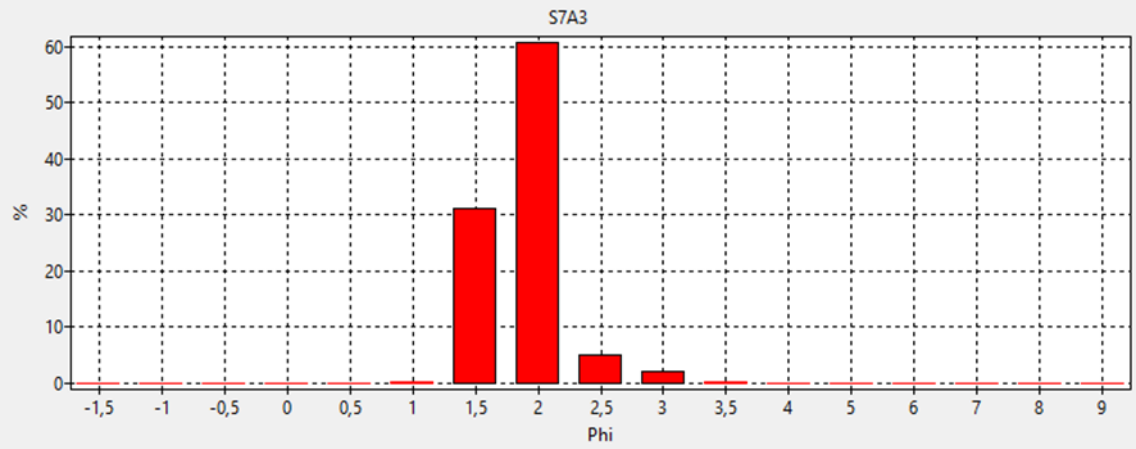
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 34 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S7A2.



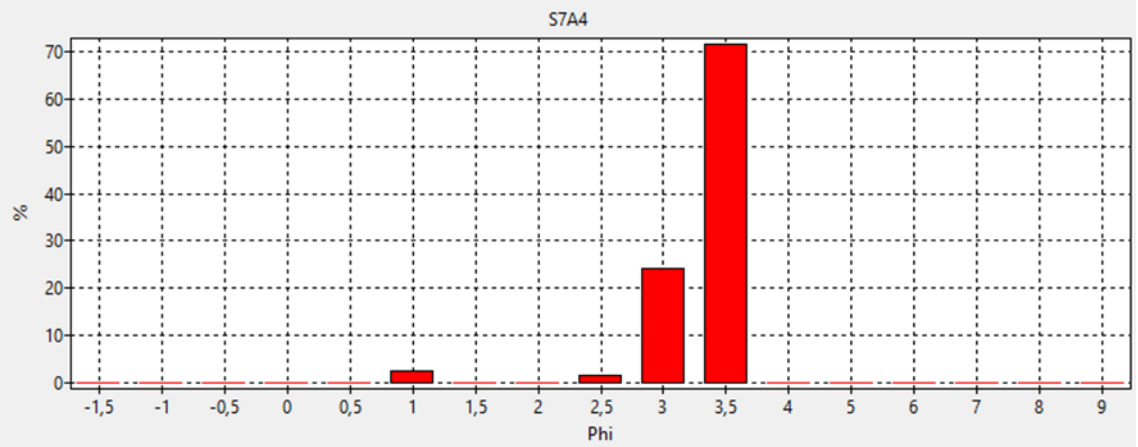
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 35 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S7A3.



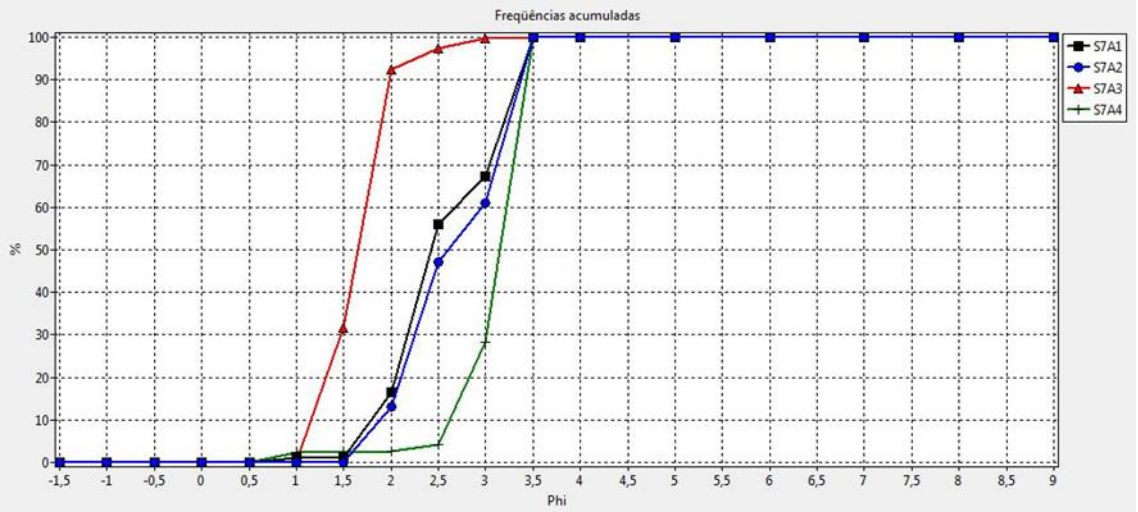
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 36 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S7A4.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 37 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S7A.

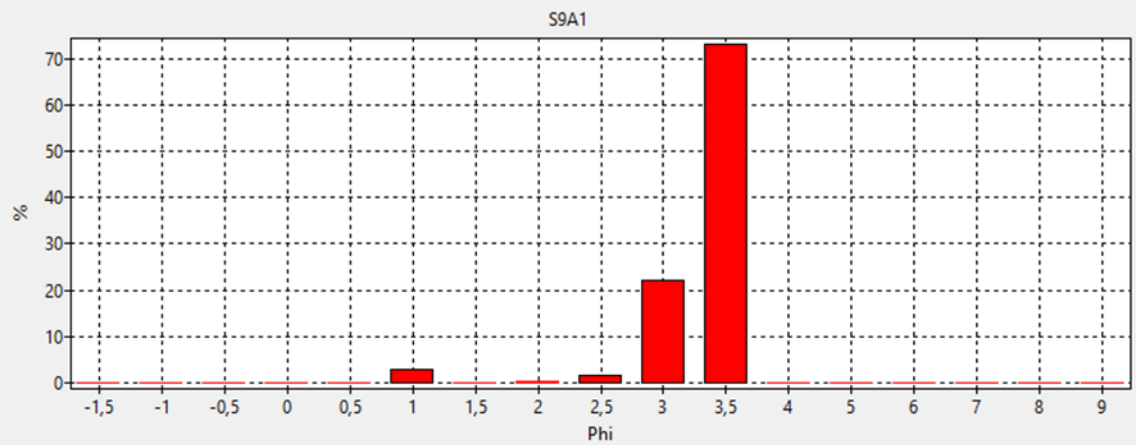


FONTE: UNILIVRE, 2024.

- Perfil S9A

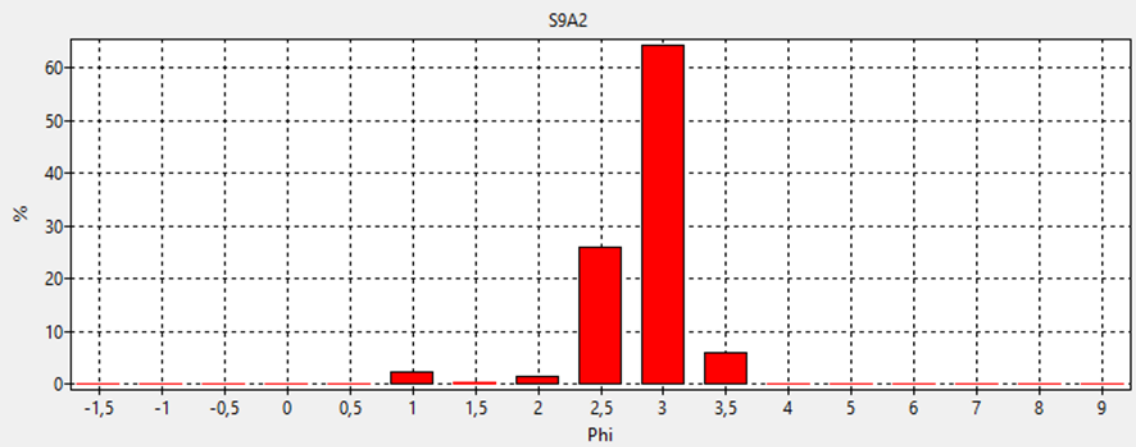
O perfil S9A da Praia Central de Guaratuba é bem variado. No trecho mais próximo da costa, há um domínio da fração de areia muito fina (73%) (TABELA 2). No segundo trecho, o domínio expressivo é de areia fina muito bem selecionada (90%). Já nos dois últimos trechos, ocorre um aumento da fração de areia média (48%) e de areia muito fina (35%), em detrimento da porção fina. Assim, a média dos diâmetros φ (phi) indicam areia fina, mesmo que essa não represente a maior porcentagem. Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 38, FIGURA 39, FIGURA 40, FIGURA 41) e ao fim obteve-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 42).

FIGURA 38 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S9A1.



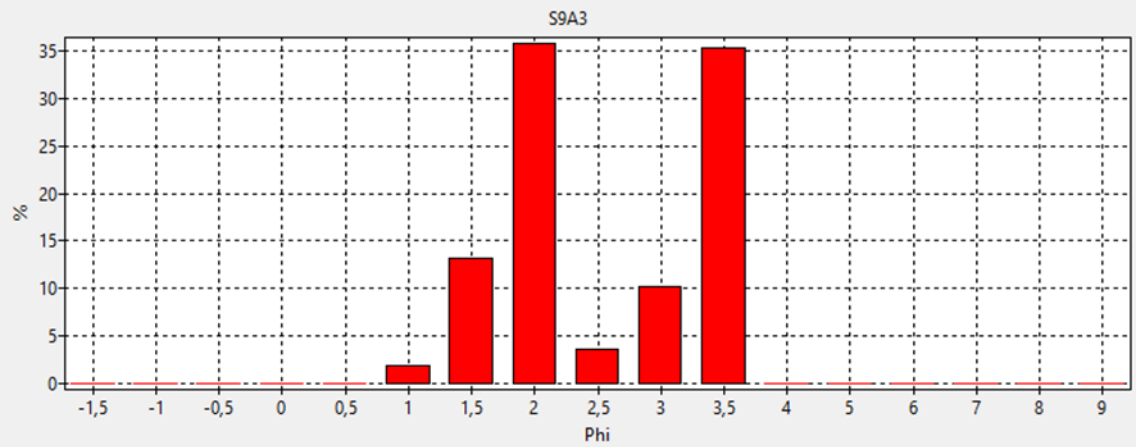
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 39 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S9A2.



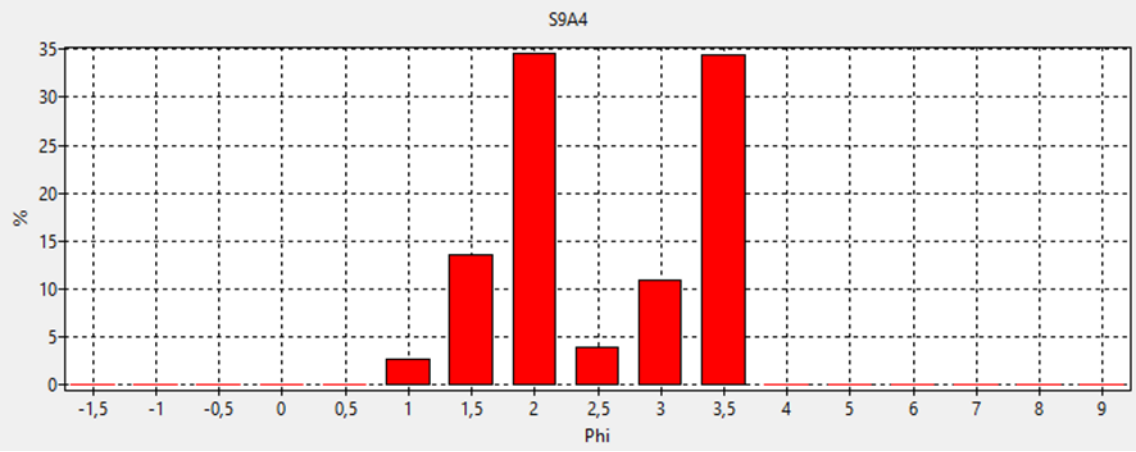
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 40 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S9A3.



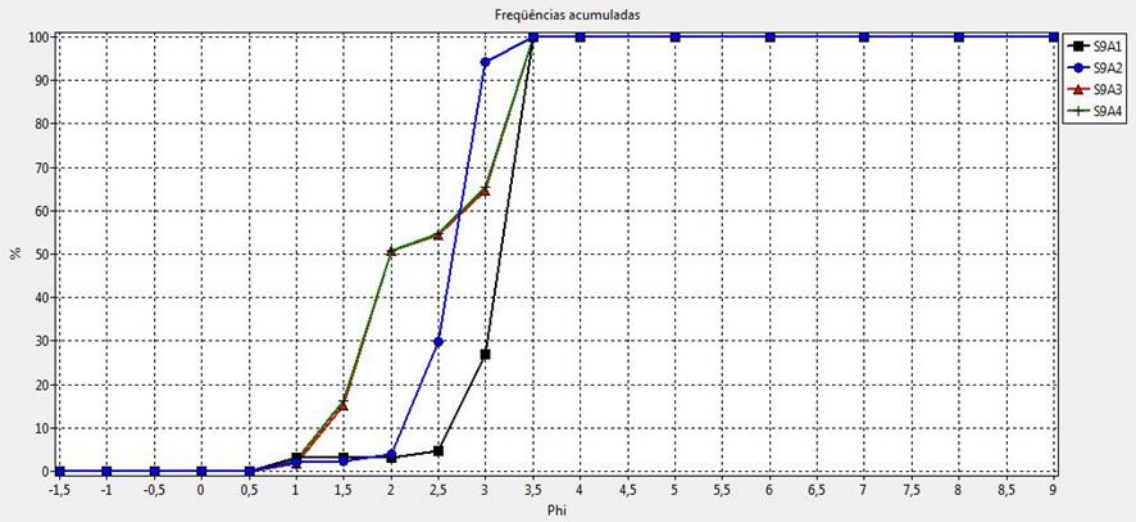
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 41 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S9A4.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 42 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S9A.

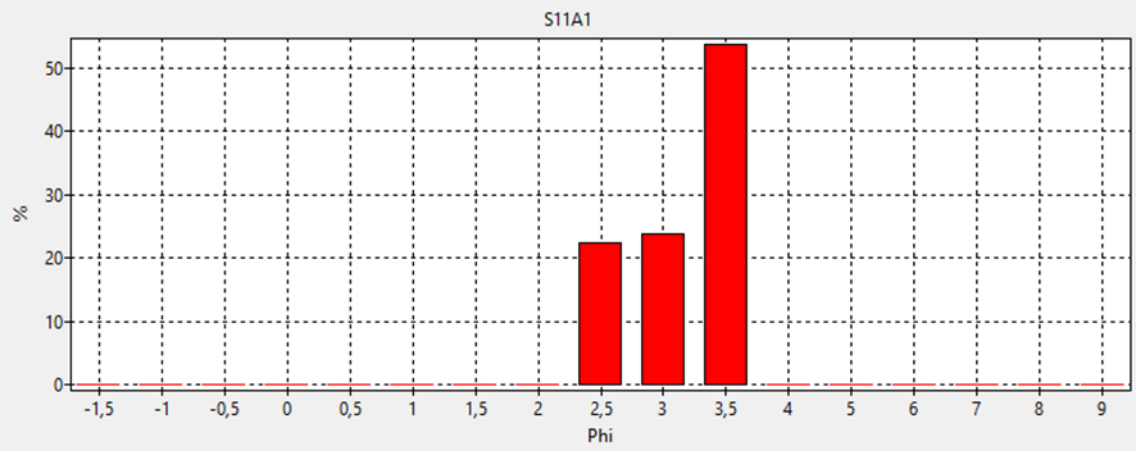


FONTE: UNILIVRE, 2024.

- Perfil S11A

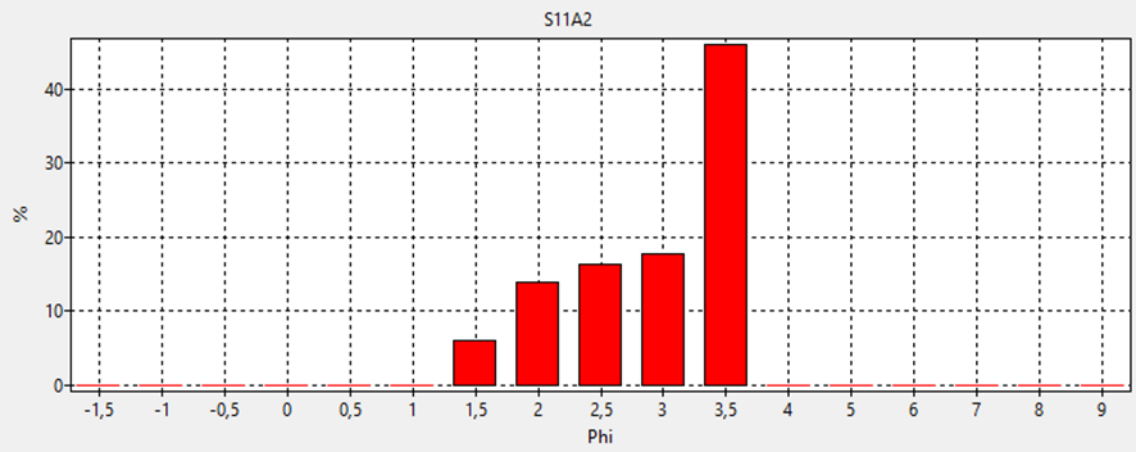
No perfil S11A da Praia Central de Guaratuba, há predomínio da fração de areia muito fina de moderadamente a bem selecionada nos três primeiros trechos (53%, 46% e 44%, no sentido da costa para o mar), complementados majoritariamente pela fração de areia fina (TABELA 2). Já no trecho mais afastado da costa, a fração de areia fina moderadamente selecionada predomina (47%). Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 43, FIGURA 44, FIGURA 45, FIGURA 46) e ao fim tem-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 47).

FIGURA 43 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S11A1.



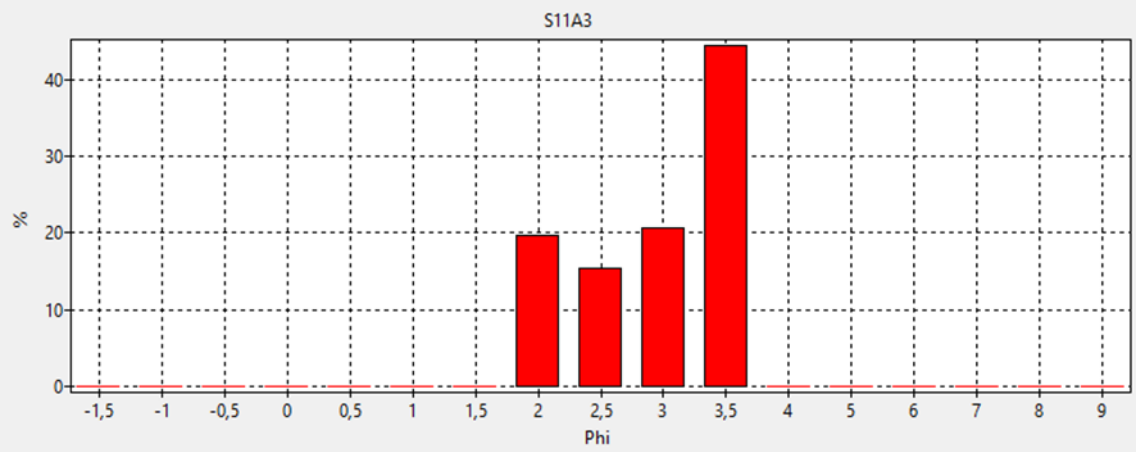
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 44 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S11A2.



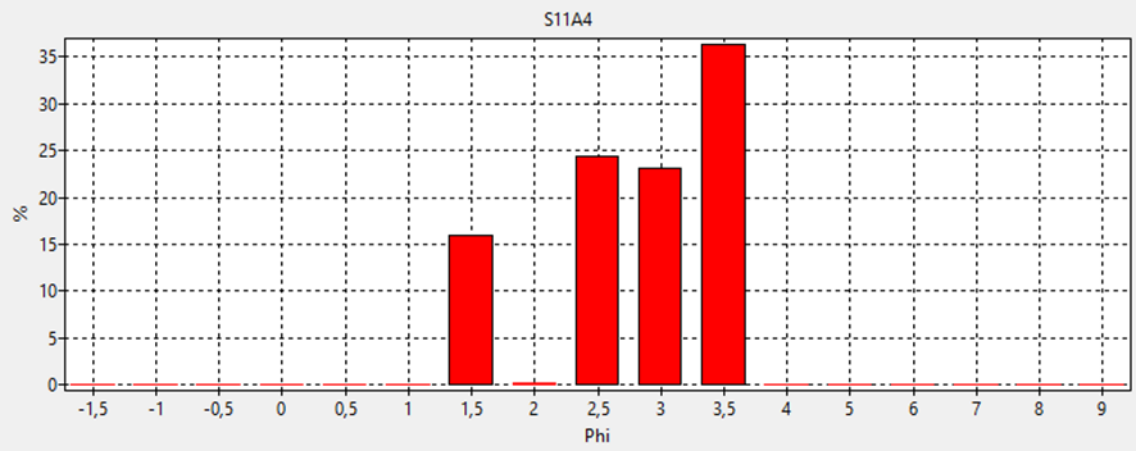
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 45 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S11A3.



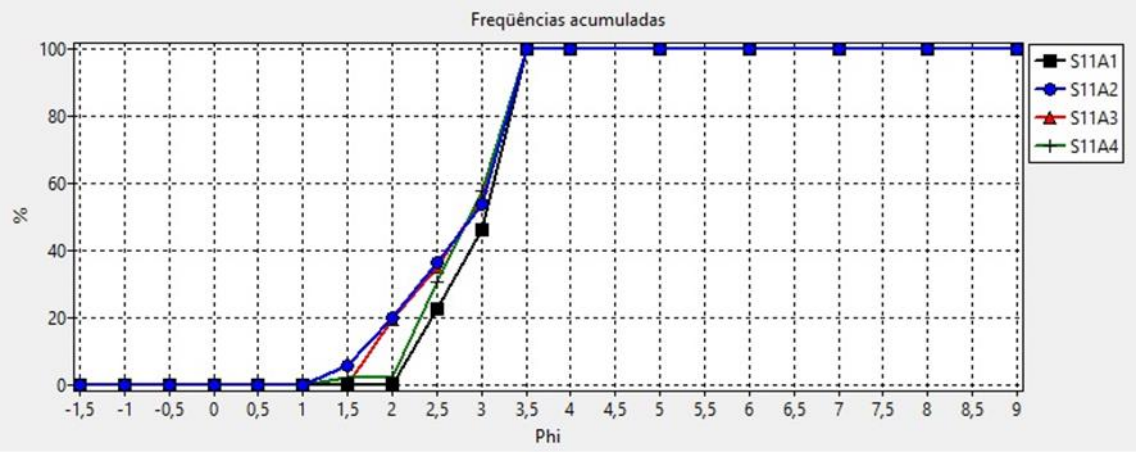
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 46 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S11A4.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 47 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S11A.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

A TABELA 2 resume as frações de areia obtidas para cada amostra de sedimento.

TABELA 2 – DISTRIBUIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA PRAIA CENTRAL.

Perfis da Praia Central						
Sedimento	**Areia Grossa**	**Areia Média**		**Areia Fina**		**Areia Muito Fina**
φ	**0,5 a 1,0**	**1,0 a 1,5**	**1,5 a 2,0**	**2,0 a 2,5**	**2,5 a 3,0**	**3,0 a 3,5**
Diâmetro (mm)	**0,707 a 0,500**	**0,500 a 0,354**	**0,354 a 0,250**	**0,250 a 0,177**	**0,177 a 0,125**	**0,125 a 0,088**
S1A1	0,28%	29,38%	66,33%	3,99%	0,01%	0,00%
S1A2	0,98%	21,83%	29,49%	45,67%	2,03%	0,01%
S1A3	0,09%	11,78%	56,11%	30,39%	1,63%	0,00%
S1A4	0,32%	20,80%	49,49%	27,30%	2,05%	0,05%
S4A1	0,11%	21,57%	25,19%	15,61%	21,10%	16,42%
S4A2	0,59%	17,49%	36,14%	14,66%	18,94%	12,19%
S4A3	0,60%	11,54%	23,32%	27,17%	22,79%	14,58%
S4A4	0,01%	0,01%	11,48%	35,56%	18,62%	34,32%
S7A1	0,92%	0,02%	15,45%	39,53%	11,23%	32,85%
S7A2	0,11%	0,01%	12,93%	33,98%	14,07%	38,91%
S7A3	0,32%	31,28%	60,74%	5,17%	2,13%	0,37%
S7A4	2,45%	0,02%	0,15%	1,68%	24,10%	71,60%
S9A1	3,02%	0,02%	0,17%	1,58%	22,11%	73,11%

Perfis da Praia Central						
Sedimento	**Areia Grossa**	**Areia Média**		**Areia Fina**		**Areia Muito Fina**
φ	**0,5 a 1,0**	**1,0 a 1,5**	**1,5 a 2,0**	**2,0 a 2,5**	**2,5 a 3,0**	**3,0 a 3,5**
Diâmetro (mm)	**0,707 a 0,500**	**0,500 a 0,354**	**0,354 a 0,250**	**0,250 a 0,177**	**0,177 a 0,125**	**0,125 a 0,088**
S9A2	2,20%	0,14%	1,53%	25,86%	64,37%	5,88%
S9A3	1,90%	13,18%	35,77%	3,59%	10,27%	35,31%
S9A4	2,64%	13,59%	34,58%	3,84%	10,92%	34,43%
S11A1	0,04%	0,01%	0,11%	22,45%	23,73%	53,66%
S11A2	0,01%	5,96%	13,87%	16,41%	17,73%	46,02%
S11A3	0,02%	0,02%	19,67%	15,30%	20,57%	44,42%
S11A4	0,05%	16,01%	0,18%	24,36%	23,06%	36,34%

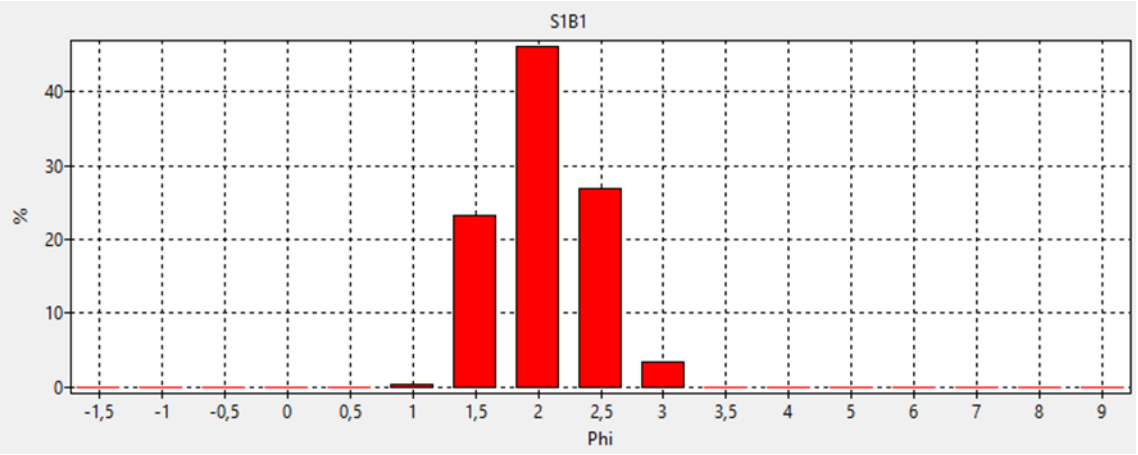
FONTE: UNILIVRE, 2024.

B) PRAIA DE CAIEIRAS

- Perfil S1B

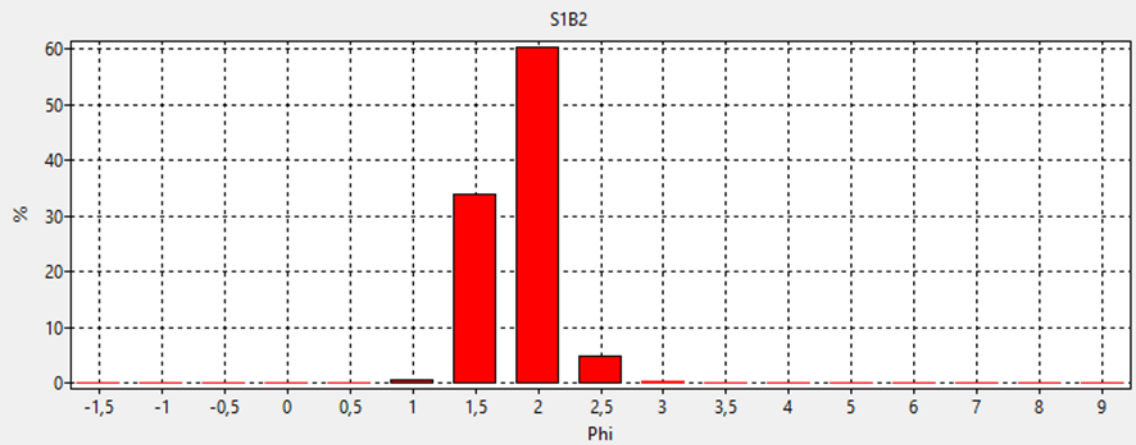
O perfil S1B da Praia de Caieiras é classificado de modo geral como areia média de moderadamente a muito bem selecionada. No primeiro e no segundo trechos deste perfil, há predomínio da fração de areia média (69% e 94%, respectivamente) (TABELA 3). No terceiro trecho há predomínio de areia fina (42%) seguido por areia média (32%). Já no último trecho, as frações estão distribuídas entre areia média (53%) e areia fina (38%). Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 48, FIGURA 49, FIGURA 50, FIGURA 51) e ao fim obteve-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 52).

FIGURA 48 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1B1.



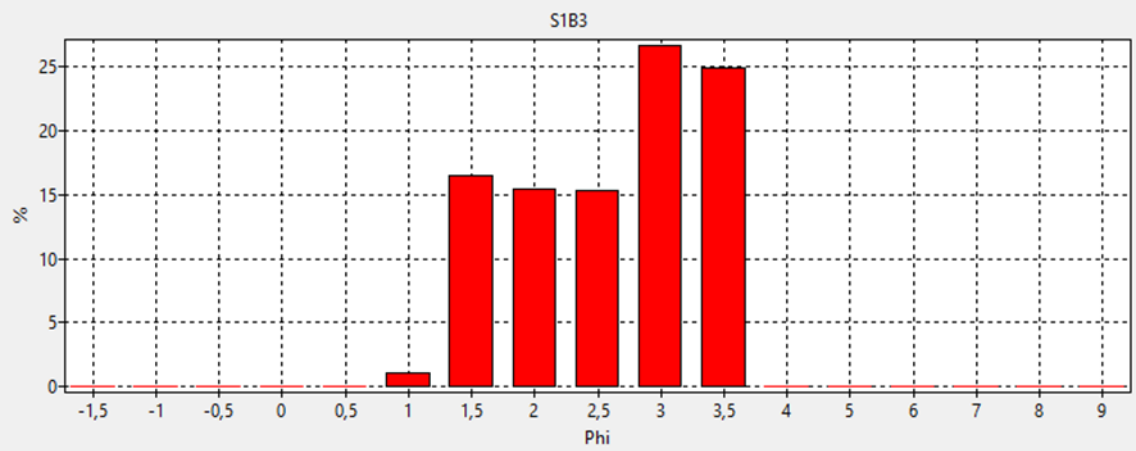
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 49 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1B2.



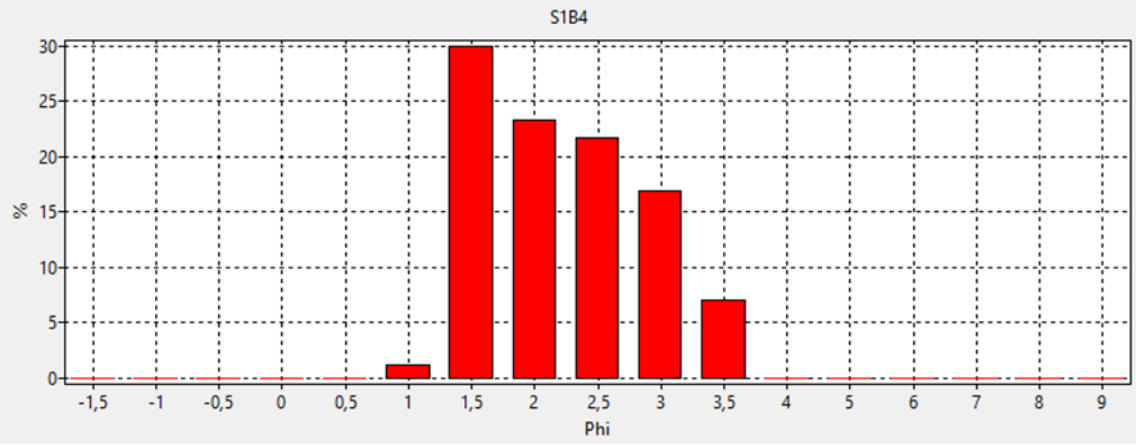
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 50 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1B3.



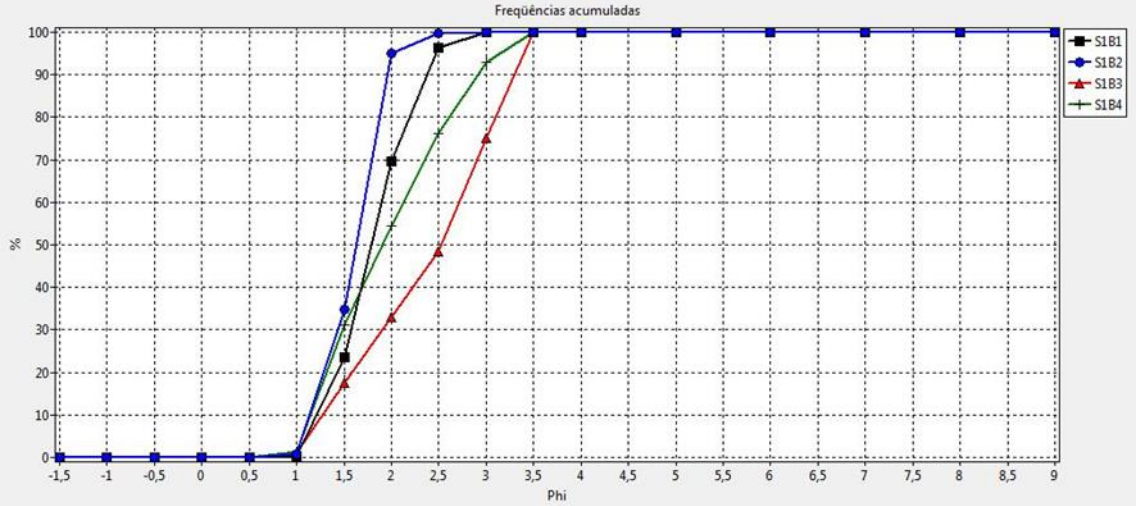
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 51 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S1B4.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 52 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S1B.

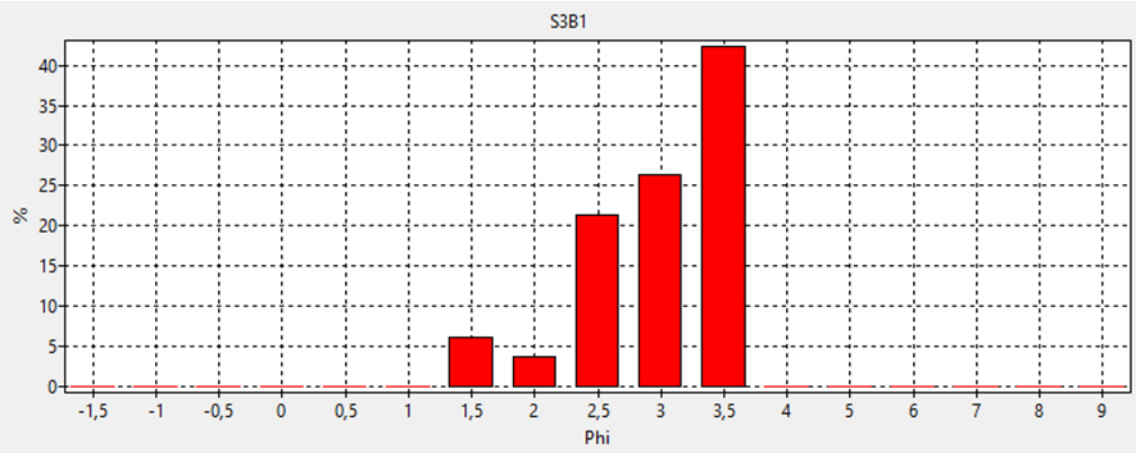


FONTE: UNILIVRE, 2024.

- Perfil S3B

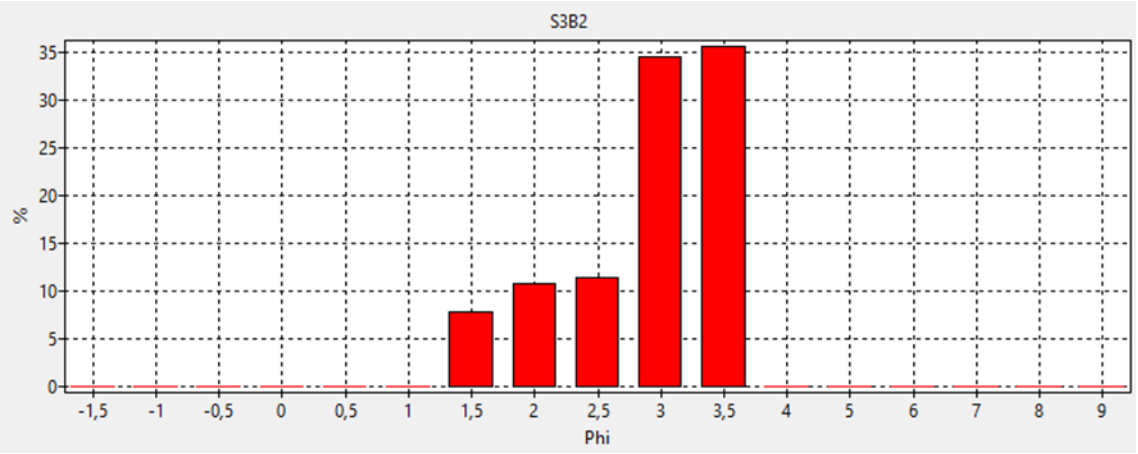
No perfil S3B da Praia de Caieiras, predominam as frações de areia fina e muito fina no primeiro trecho (48% e 42%, respectivamente) e segundo trecho (46% e 36%, respectivamente) (TABELA 3). Já no terceiro e no quarto trechos, predomina a fração de areia média (55% e 47%, respectivamente), complementada pelas primeiras grandes frações de areia grossa observadas neste estudo (28% e 24%, respectivamente). Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 53, FIGURA 54, FIGURA 55, FIGURA 56) e ao fim tem-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 57).

FIGURA 53 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S3B1.



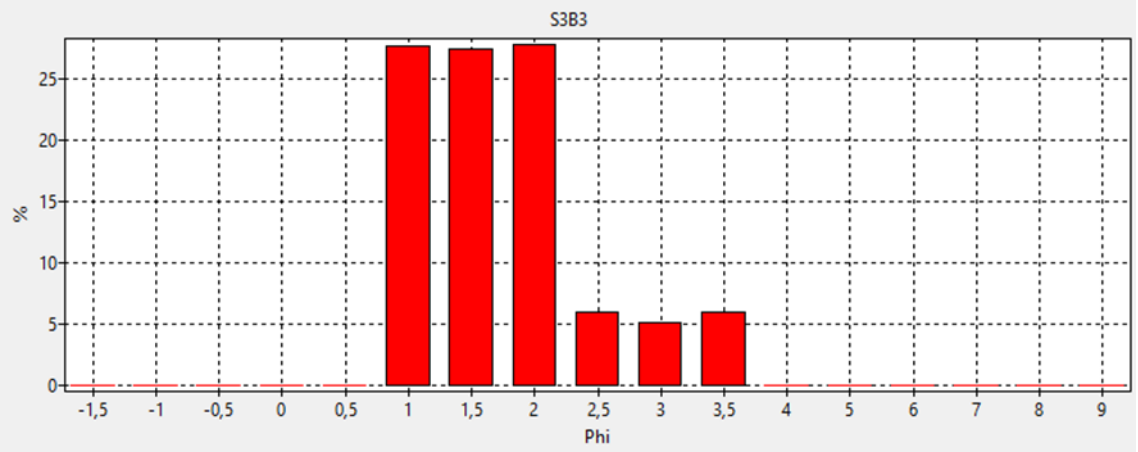
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 54 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S3B2.



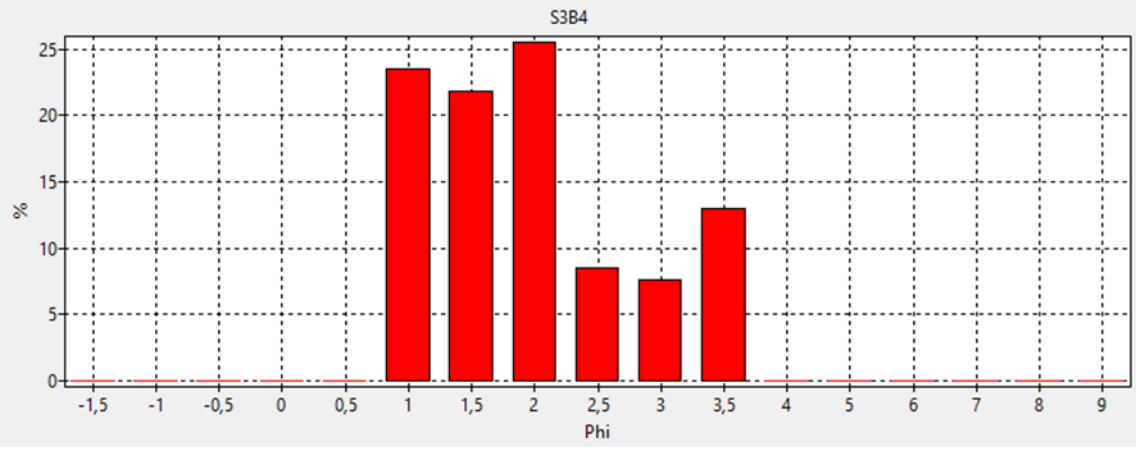
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 55 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S3B3.



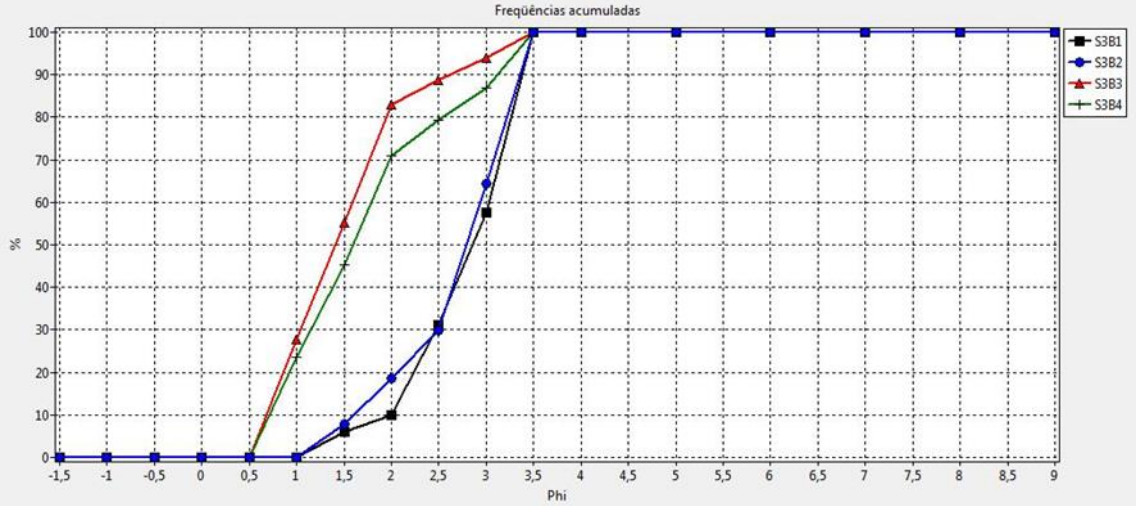
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 56 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S3B4.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 57 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S3B.

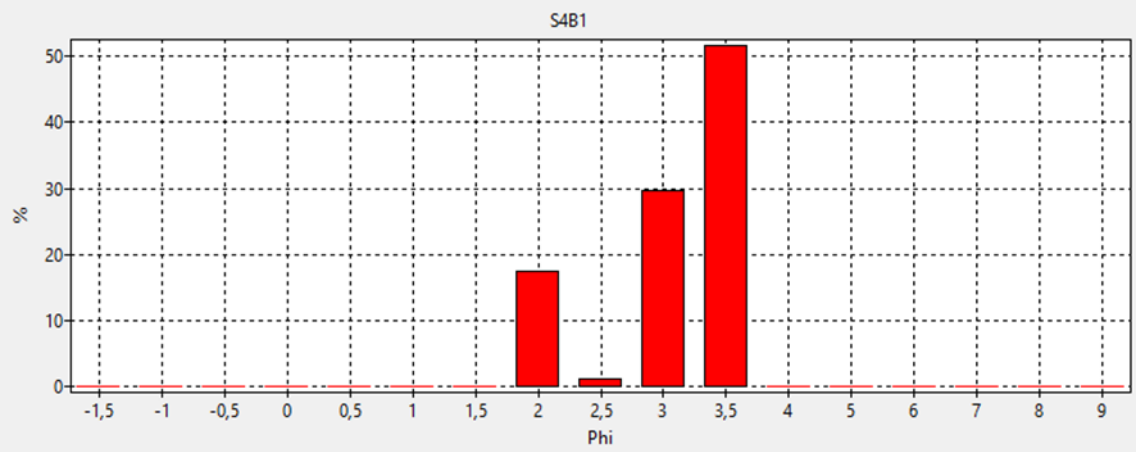


FONTE: UNILIVRE, 2024.

- Perfil S4B

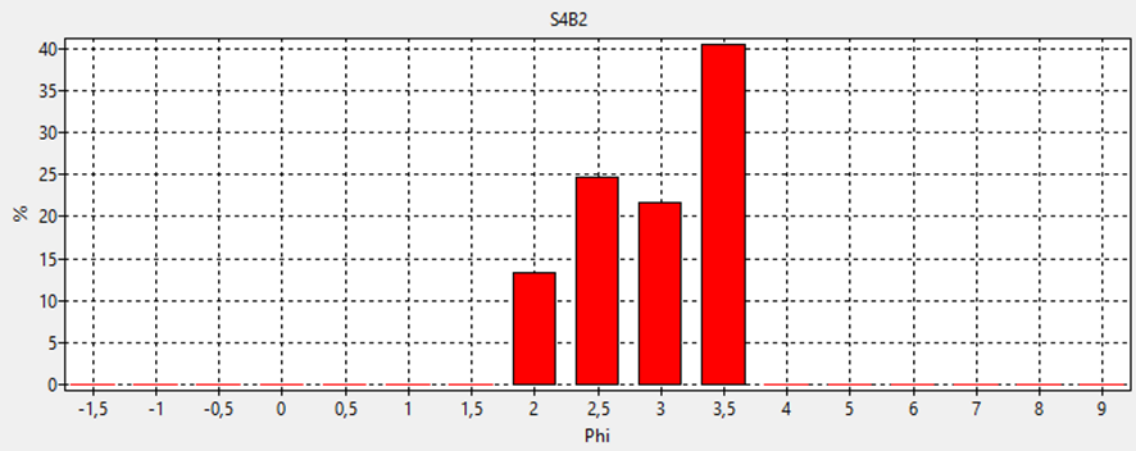
No perfil S4B da Praia de Caieiras, há predomínio da fração de areia muito fina, de moderadamente a muito bem selecionada, no primeiro, terceiro e quarto pontos de coleta (52%, 63% e 66%, no sentido da costa para o mar) (TABELA 3). No segundo trecho, a areia fina é predominante (46%) sobre a muito fina (40%). Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 58, FIGURA 59, FIGURA 60, FIGURA 61) e ao fim obteve-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 62).

FIGURA 58 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4B1.



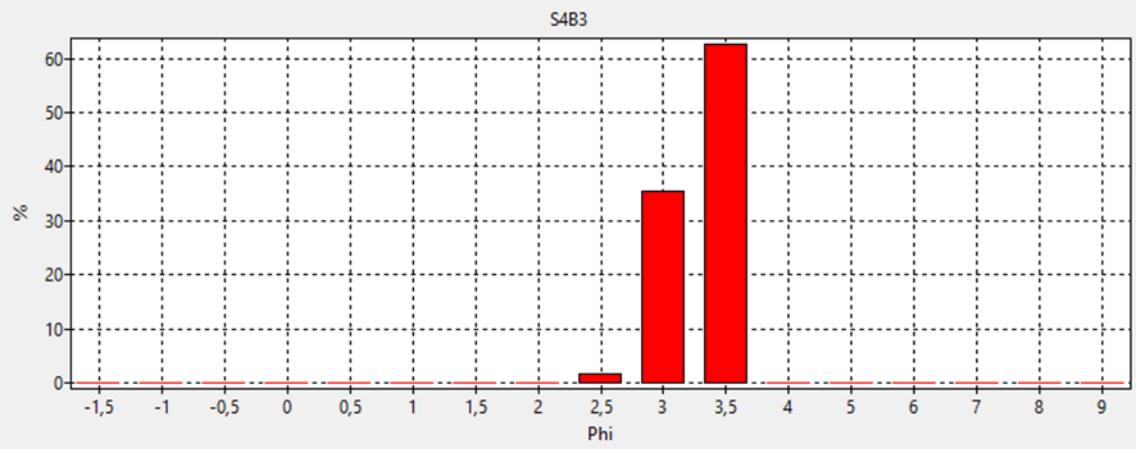
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 59 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4B2.



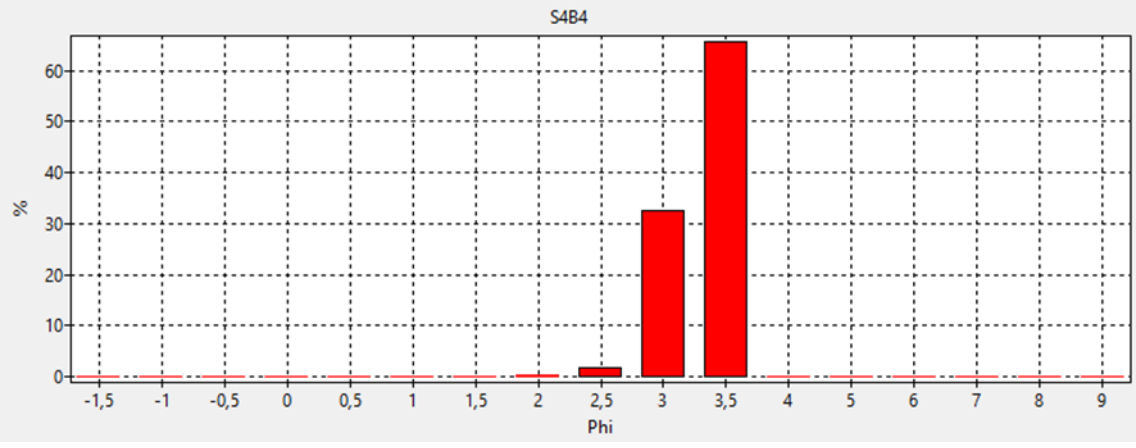
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 60 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4B3.



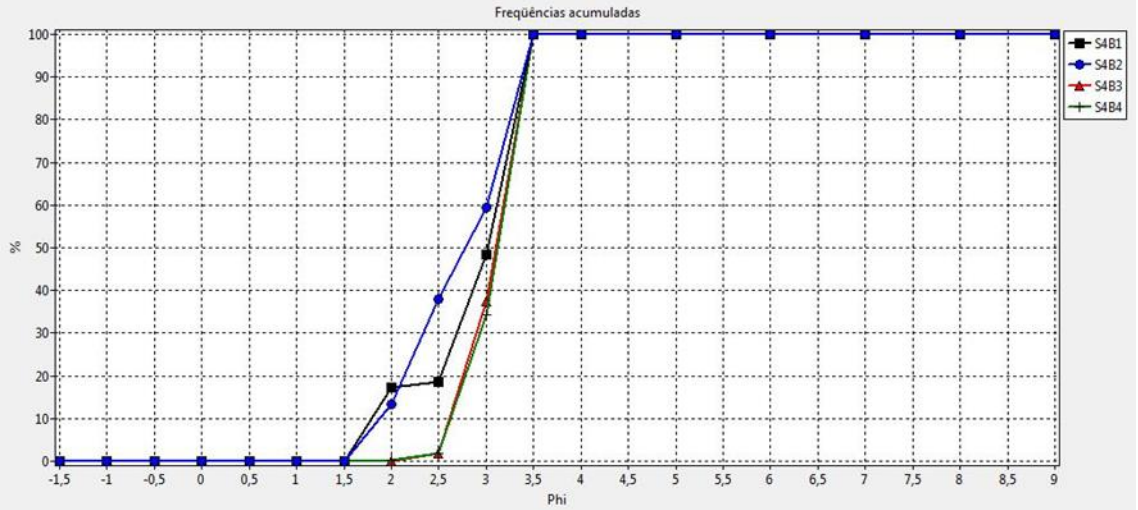
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 61 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S4B4.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 62 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S4B.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

TABELA 3 – DISTRIBUIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA PRAIA DE CAIEIRAS.

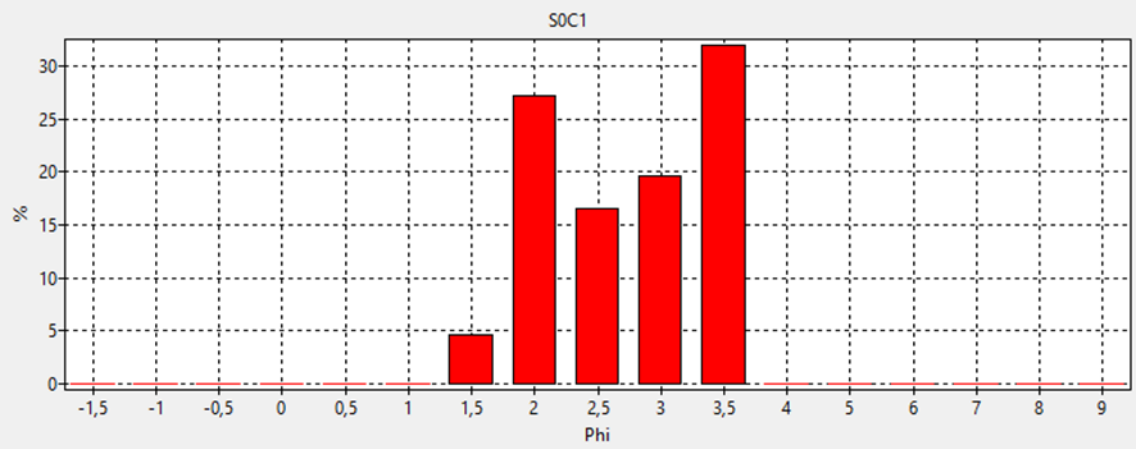
Perfis da Praia de Caieiras						
Sedimento	**Areia Grossa**	**Areia Média**		**Areia Fina**		**Areia Muito Fina**
φ	**0,5 a 1,0**	**1,0 a 1,5**	**1,5 a 2,0**	**2,0 a 2,5**	**2,5 a 3,0**	**3,0 a 3,5**
Diâmetro (mm)	**0,707 a 0,500**	**0,500 a 0,354**	**0,354 a 0,250**	**0,250 a 0,177**	**0,177 a 0,125**	**0,125 a 0,088**
S1B1	0,32%	23,19%	46,06%	26,88%	3,47%	0,08%
S1B2	0,67%	34,02%	60,31%	4,80%	0,20%	0,00%
S1B3	1,10%	16,55%	15,40%	15,31%	26,69%	24,95%
S1B4	1,19%	29,94%	23,24%	21,68%	16,91%	7,04%
S3B1	0,00%	6,13%	3,71%	21,38%	26,42%	42,35%
S3B2	0,00%	7,82%	10,75%	11,37%	34,45%	35,61%
S3B3	27,71%	27,40%	27,79%	5,97%	5,17%	5,97%
S3B4	23,54%	21,82%	25,54%	8,48%	7,63%	13,00%
S4B1	0,00%	0,00%	17,37%	1,23%	29,74%	51,67%
S4B2	0,00%	0,00%	13,26%	24,64%	21,60%	40,50%
S4B3	0,00%	0,00%	0,12%	1,68%	35,52%	62,67%
S4B4	0,02%	0,01%	0,16%	1,74%	32,45%	65,61%

C) PRAINHA

- Perfil S0C

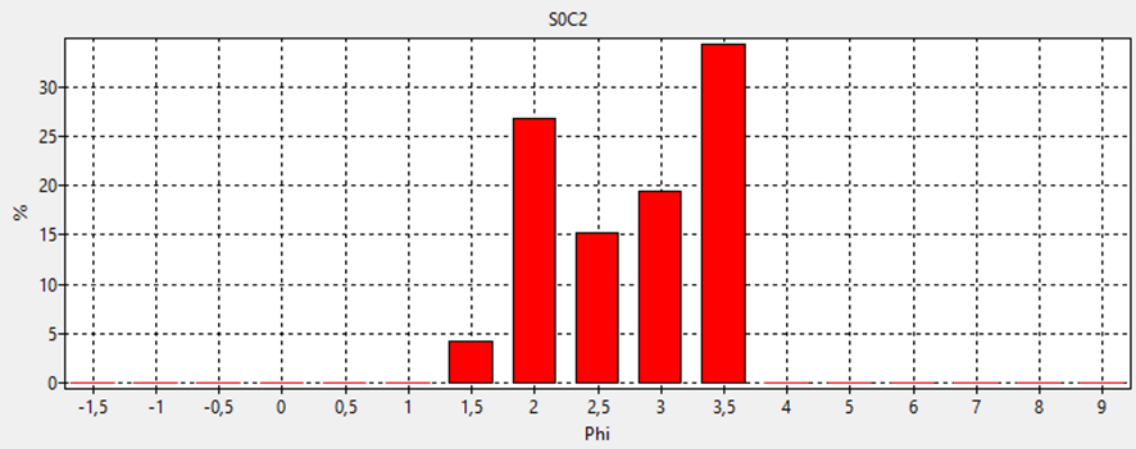
O perfil S0C da Prainha de Guaratuba, classificado como areia fina moderadamente selecionada, apresenta resultados com uma distribuição mais homogênea entre areia média (31-32%), fina (34%-36%) e areia muito fina (31-34%) (TABELA 4). Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 63 e FIGURA 64) e ao fim obteve-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 65).

FIGURA 63 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S0C1.



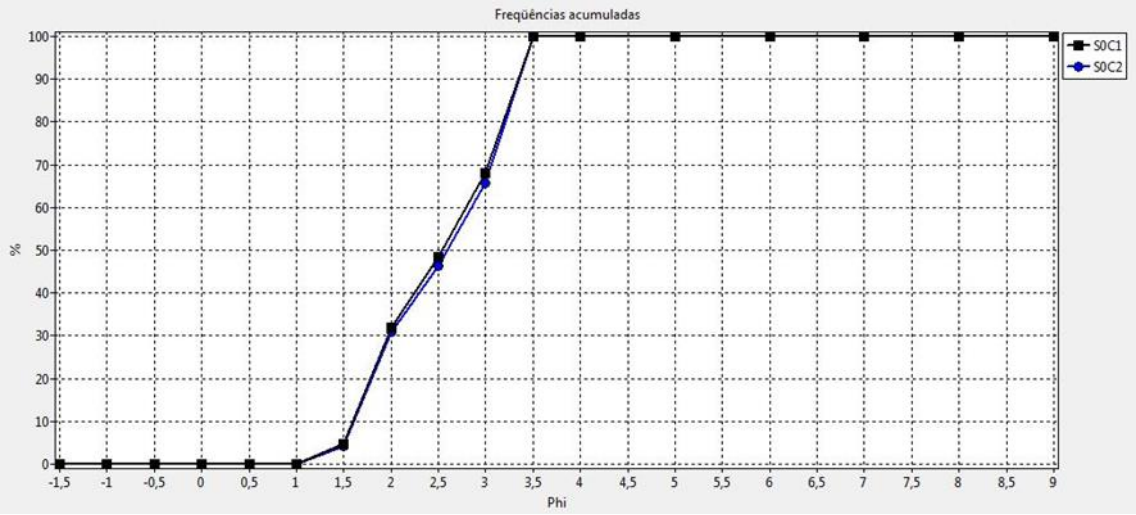
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 64 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S0C2.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 65 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S0C.

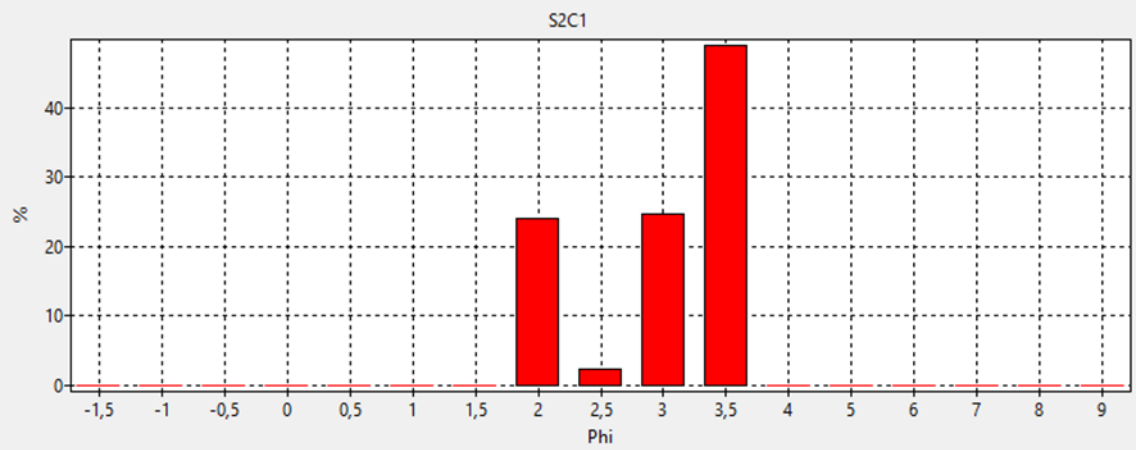


FONTE: UNILIVRE, 2024.

- Perfil S2C

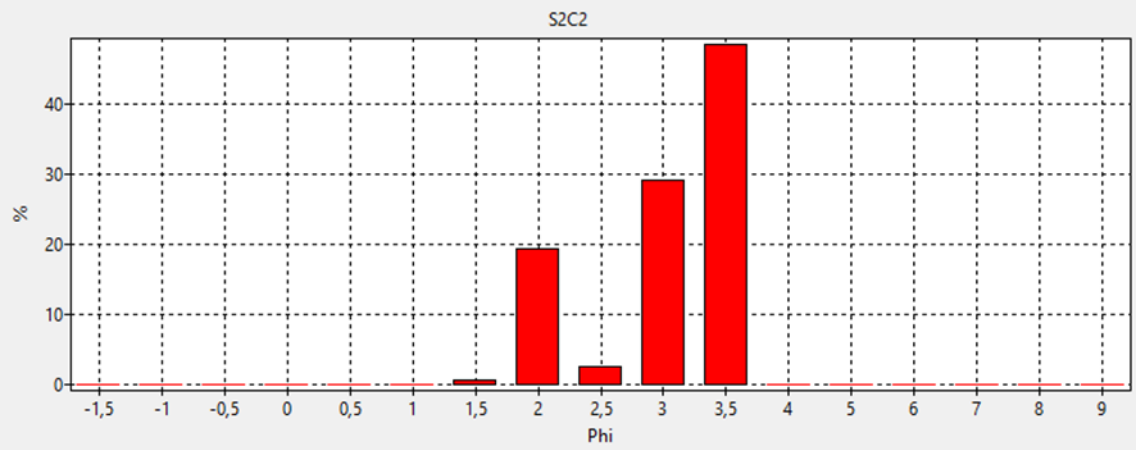
O perfil S2C da Prainha de Guaratuba caracteriza-se pelo predomínio da fração de areia muito fina (49%, 48%, 48% e 51%, no sentido da costa para o mar) (TABELA 4). Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 66, FIGURA 67, FIGURA 68, FIGURA 69) e ao fim obteve-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 70).

FIGURA 66 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S2C1.



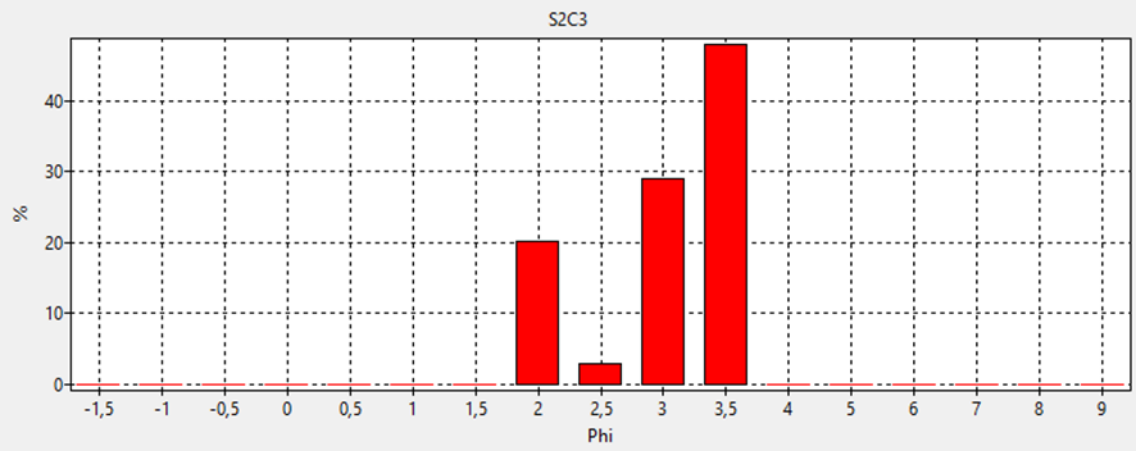
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 67 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S2C2.



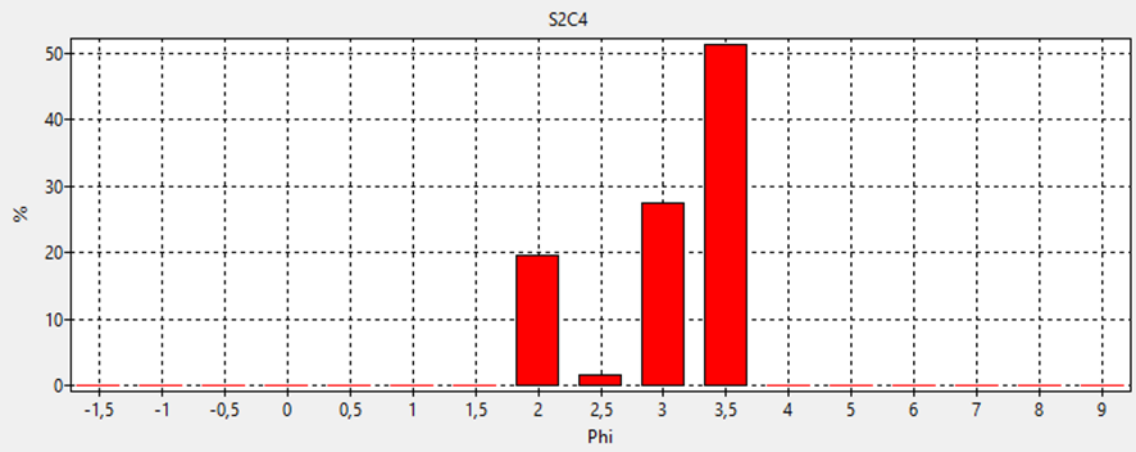
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 68 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S2C3.



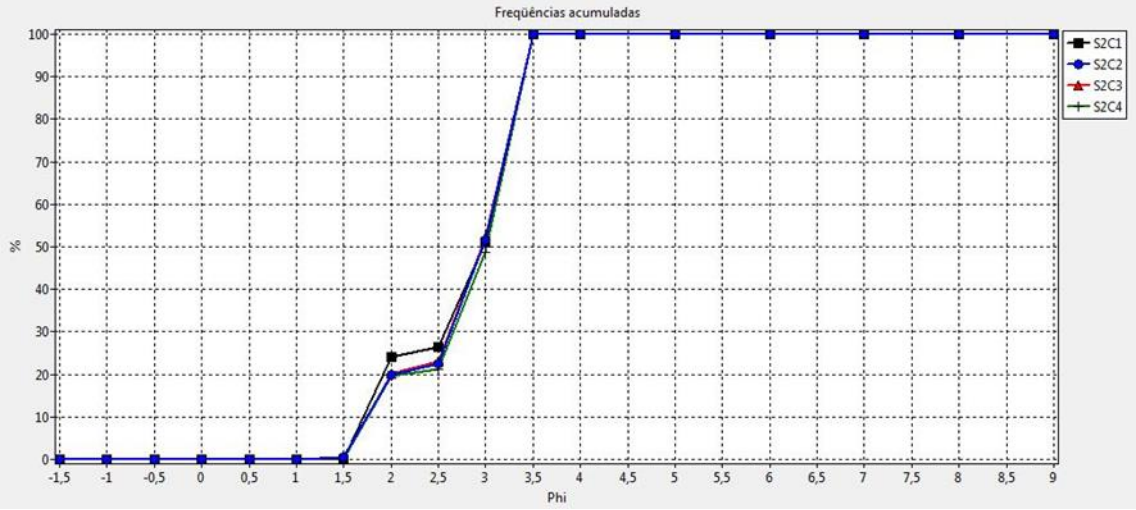
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 69 – PERFIL GRANULOMÉTRICO DA AMOSTRA S2C4.



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 70 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS DE GRANULOMETRIA DO PERFIL DE PRAIA S2C.

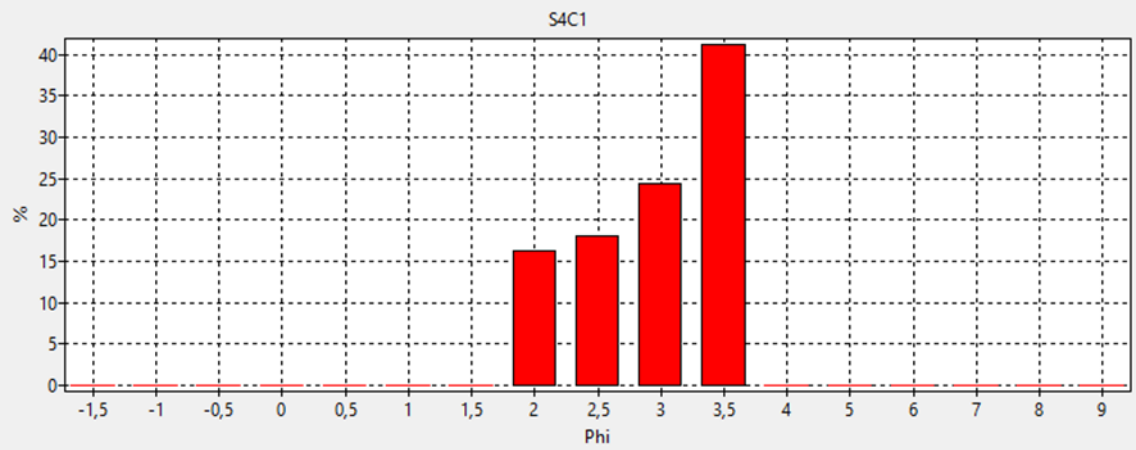


FONTE: UNILIVRE, 2024.

- Perfil S4C

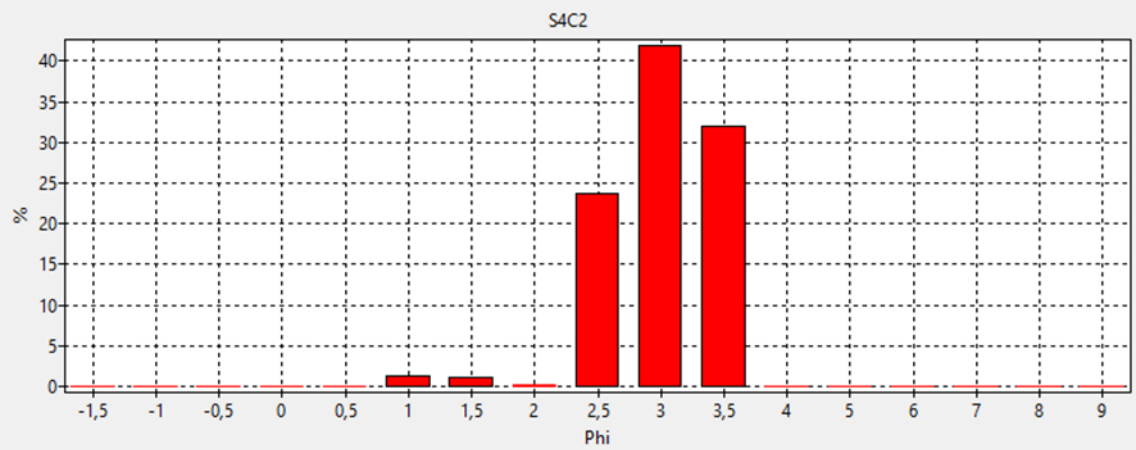
Por fim, o perfil S4C da Prainha de Guaratuba foi classificado como areia fina de moderadamente a bem selecionada. Em todos os trechos ocorre predomínio da fração de areia fina (42%, 66%, 55% e 67%, no sentido da costa para o mar) (TABELA 4). No primeiro trecho, as proporções de areia fina e muito fina são muito próximas (42% e 41%, respectivamente). Importante mencionar a porcentagem relevante de 32% de areia muito fina também no segundo trecho. Cada um dos pontos de coleta foi analisado separadamente quanto ao diâmetro dos grãos (FIGURA 71, FIGURA 72, FIGURA 73, FIGURA 74) e ao fim obteve-se um gráfico de frequências acumuladas (FIGURA 75).

FIGURA 71 – S4C1



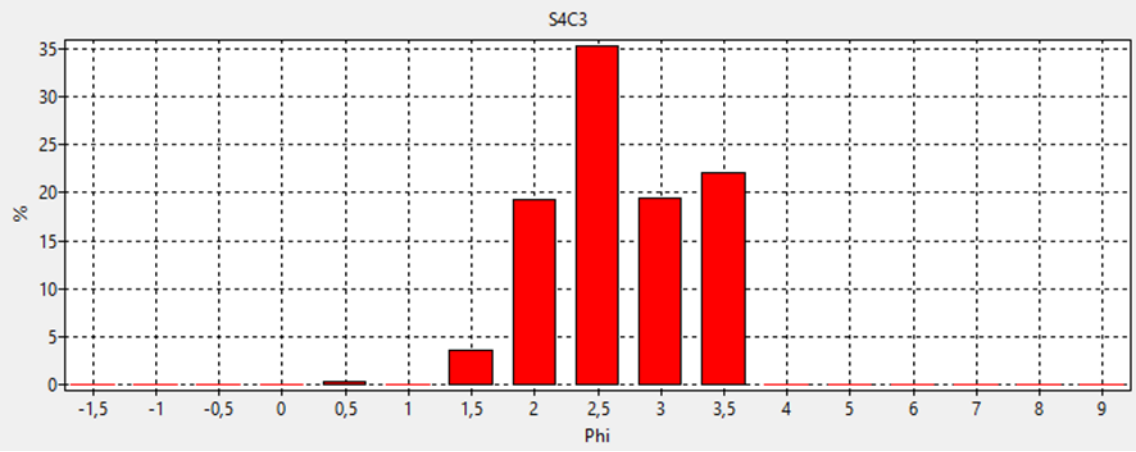
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 72 – S4C2



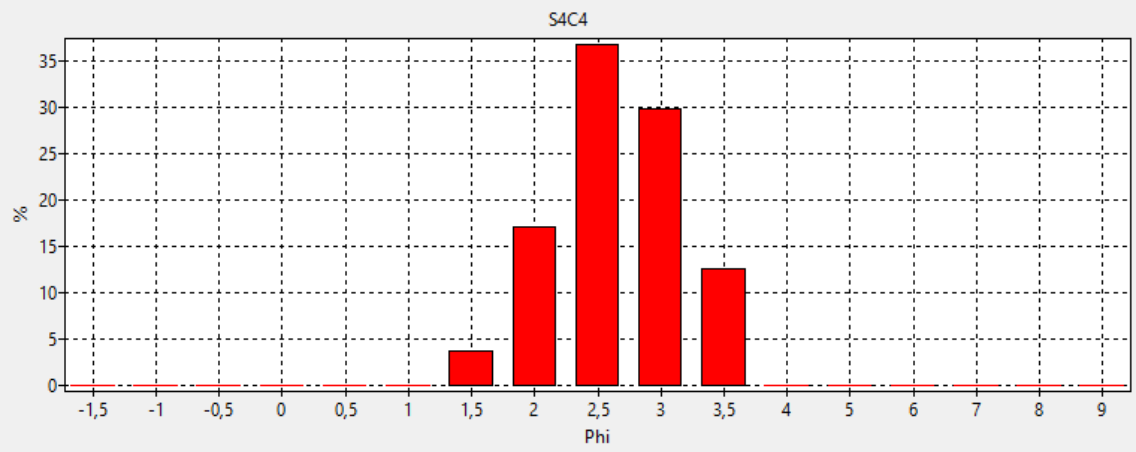
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 73 – S4C3



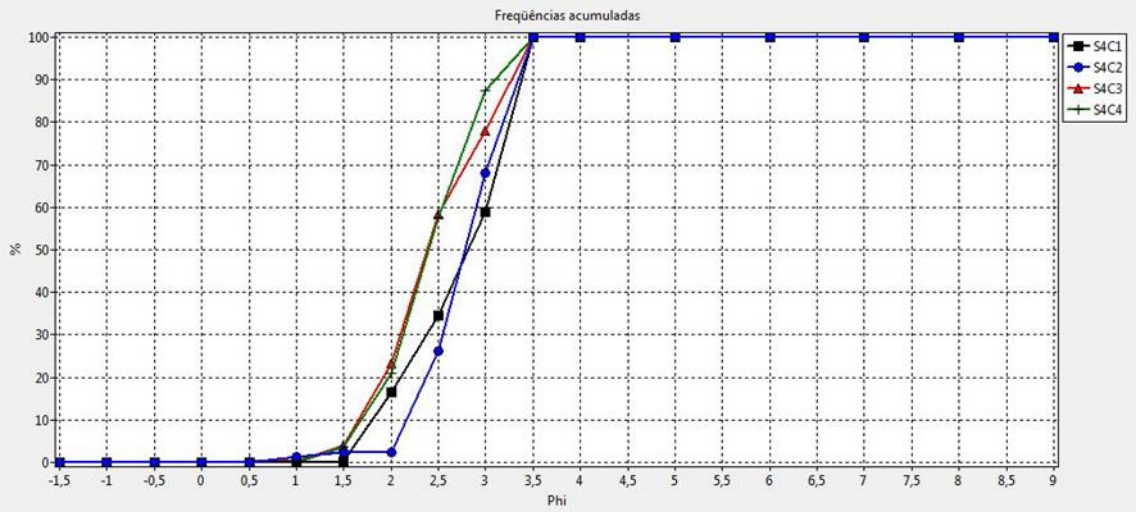
FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 74 – S4C4



FONTE: UNILIVRE, 2024.

FIGURA 75 – FREQUÊNCIAS ACUMULADAS – S4C



FONTE: UNILIVRE, 2024.

TABELA 4 – DISTRIBUIÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA PRAINHA.

Perfis da Prainha						
Sedimento	**Areia Grossa**	**Areia Média**		**Areia Fina**		**Areia Muito Fina**
φ	**0,5 a 1,0**	**1,0 a 1,5**	**1,5 a 2,0**	**2,0 a 2,5**	**2,5 a 3,0**	**3,0 a 3,5**
Diâmetro (mm)	**0,707 a 0,500**	**0,500 a 0,354**	**0,354 a 0,250**	**0,250 a 0,177**	**0,177 a 0,125**	**0,125 a 0,088**
S0C1	0,03%	4,59%	27,27%	16,56%	19,60%	31,97%
S0C2	0,00%	4,27%	26,73%	15,27%	19,43%	34,30%
S2C1	0,01%	0,02%	24,03%	2,38%	24,62%	48,94%
S2C2	0,00%	0,61%	19,36%	2,55%	29,09%	48,39%
S2C3	0,01%	0,02%	20,15%	2,94%	29,00%	47,88%
S2C4	0,10%	0,02%	19,53%	1,61%	27,50%	51,24%
S4C1	0,04%	0,07%	16,29%	18,04%	24,33%	41,19%
S4C2	1,26%	1,08%	0,10%	23,72%	41,92%	31,91%
S4C3	0,00%	3,55%	19,27%	35,31%	19,47%	22,04%
S4C4	0,00%	3,75%	17,15%	36,78%	29,81%	12,51%

FONTE: UNILIVRE, 2024.

A TABELA 5 apresenta os resultados da análise do diâmetro φ (phi) para os parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957), assim como os da distribuição textural, para todas as amostras de sedimentos analisadas.

TABELA 5 – RESULTADOS DE φ (PHI) PARA OS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DE FOLK E WARD (1957) E DISTRIBUIÇÃO TEXTURAL.

Amostra	Média	Classe	Mediana	Seleção	Classe	Assimetria	Classe	Curtose	Classe	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
S1A1	1,61	Areia média	1,653	0,2987	Muito bem selecionado	-0,2291	Negativa	0,8879	Platicúrtica	0	100	0	0
S1A2	1,884	Areia média	1,961	0,4591	Bem selecionado	-0,2469	Negativa	0,7924	Platicúrtica	0	100	0	0
S1A3	1,88	Areia média	1,84	0,369	Bem selecionado	0,07241	Aprox. simétrica	1,016	Mesocúrtica	0	100	0	0
S1A4	1,805	Areia média	1,792	0,4193	Bem selecionado	0,01316	Aprox. simétrica	1,01	Mesocúrtica	0	100	0	0
S4A1	2,16	Areia fina	2,1	0,7497	Moderadamente selecionado	0,1132	Positiva	0,744	Platicúrtica	0	100	0	0
S4A2	2,094	Areia média	1,942	0,6933	Bem selecionado	0,2805	Muito positiva	0,8339	Muito leptocúrtica	0	100	0	0
S4A3	2,273	Areia fina	2,268	0,6705	Bem selecionado	0,002198	Positiva	0,8801	Platicúrtica	0	100	0	0
S4A4	2,636	Areia fina	2,579	0,56	Moderadamente selecionado	0,06756	Positiva	0,741	Platicúrtica	0	100	0	0
S7A1	2,556	Areia fina	2,425	0,5889	Moderadamente selecionado	0,2122	Positiva	0,727	Platicúrtica	0	100	0	0
S7A2	2,648	Areia fina	2,606	0,5774	Moderadamente selecionado	0,02553	Aprox. simétrica	0,714	Platicúrtica	0	100	0	0
S7A3	1,611	Areia média	1,652	0,3494	Muito bem selecionado	-0,07629	Aprox. simétrica	1,048	Mesocúrtica	0	100	0	0
S7A4	3,094	Areia muito fina	3,151	0,3054	Muito bem selecionado	-0,3016	Muito negativa	0,9839	Mesocúrtica	0	100	0	0
S9A1	3,101	Areia muito fina	3,158	0,3048	Muito bem selecionado	-0,3146	Muito negativa	1,059	Mesocúrtica	0	100	0	0
S9A2	2,604	Areia fina	2,657	0,3314	Muito bem selecionado	-0,2191	Negativa	0,974	Mesocúrtica	0	100	0	0
S9A3	2,258	Areia fina	1,988	0,7903	Moderadamente selecionado	0,3534	Muito positiva	0,6285	Muito platicúrtica	0	100	0	0
S9A4	2,249	Areia fina	1,988	0,7987	Moderadamente selecionado	0,3352	Muito positiva	0,6352	Muito platicúrtica	0	100	0	0
S11A1	2,913	Areia fina	3,034	0,4534	Bem selecionado	-0,371	Muito negativa	0,7695	Platicúrtica	0	100	0	0
S11A2	2,692	Areia fina	2,888	0,6732	Moderadamente selecionado	-0,4254	Muito negativa	0,7755	Platicúrtica	0	100	0	0

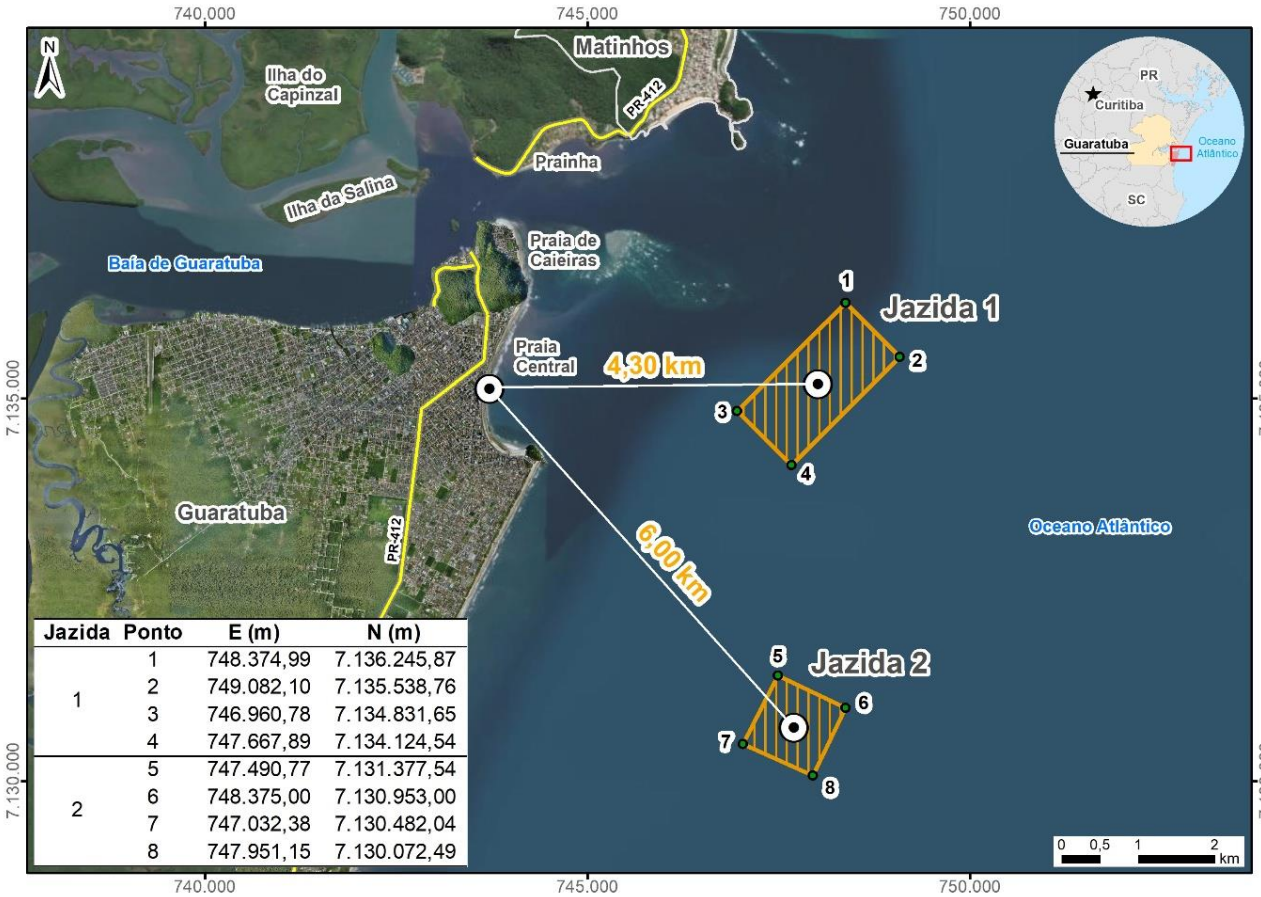
Amostra	Média	Classe	Mediana	Seleção	Classe	Assimetria	Classe	Curtose	Classe	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
S11A3	2,697	Areia fina	2,864	0,6289	Moderadamente selecionado	-0,3592	Muito negativa	0,7124	Platicúrtica	0	100	0	0
S11A4	2,494	Areia fina	2,704	0,7904	Moderadamente selecionado	-0,3572	Muito negativa	0,9557	Mesocúrtica	0	100	0	0
S1B1	1,798	Areia média	1,788	0,4405	Bem selecionado	0,01638	Aprox. simétrica	0,9616	Mesocúrtica	0	100	0	0
S1B2	1,587	Areia média	1,627	0,3128	Muito bem selecionado	-0,189	Negativa	0,8054	Platicúrtica	0	100	0	0
S1B3	2,387	Areia fina	2,531	0,778	Moderadamente selecionado	-0,2441	Muito positiva	0,742	Platicúrtica	0	100	0	0
S1B4	1,963	Areia média	1,906	0,6872	Moderadamente selecionado	0,1525	Positiva	0,7911	Platicúrtica	0	100	0	0
S3B1	2,77	Areia fina	2,855	0,5999	Moderadamente selecionado	-0,3213	Muito negativa	0,9799	Mesocúrtica	0	100	0	0
S3B2	2,649	Areia fina	2,791	0,6684	Moderadamente selecionado	-0,3502	Muito negativa	0,9982	Mesocúrtica	0	100	0	0
S3B3	1,429	Areia média	1,407	0,7033	Moderadamente selecionado	0,1979	Positiva	1,126	Leptocúrtica	0	100	0	0
S3B4	1,745	Areia média	1,591	0,9002	Moderadamente selecionado	0,253	Positiva	0,916	Mesocúrtica	0	100	0	0
S4B1	2,774	Areia fina	3,016	0,62	Moderadamente selecionado	-0,5214	Muito negativa	1,139	Leptocúrtica	0	100	0	0
S4B2	2,713	Areia fina	2,78	0,5768	Moderadamente selecionado	-0,2048	Negativa	0,7523	Platicúrtica	0	100	0	0
S4B3	3,058	Areia muito fina	3,101	0,3068	Muito bem selecionado	-0,2044	Negativa	0,7911	Platicúrtica	0	100	0	0
S4B4	3,071	Areia muito fina	3,119	0,3039	Muito bem selecionado	-0,2334	Negativa	0,8255	Platicúrtica	0	100	0	0
S0C1	2,499	Areia fina	2,54	0,6753	Moderadamente selecionado	-0,07877	Aprox. simétrica	0,6353	Muito platicúrtica	0	100	0	0
S0C2	2,527	Areia fina	2,596	0,6767	Moderadamente selecionado	-0,1322	Negativa	0,6284	Muito platicúrtica	0	100	0	0
S2C1	2,716	Areia fina	2,979	0,6557	Moderadamente selecionado	-0,5071	Muito negativa	0,7228	Platicúrtica	0	100	0	0
S2C2	2,735	Areia fina	2,972	0,6374	Moderadamente selecionado	-0,4885	Muito negativa	1,076	Mesocúrtica	0	100	0	0

Amostra	Média	Classe	Mediana	Seleção	Classe	Assimetria	Classe	Curtose	Classe	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
S2C3	2,731	Areia fina	2,963	0,6356	Moderadamente selecionado	-0,4773	Muito negativa	1,058	Mesocúrtica	0	100	0	0
S2C4	2,754	Areia fina	3,012	0,6361	Moderadamente selecionado	-0,5287	Muito negativa	1,088	Mesocúrtica	0	100	0	0
S4C1	2,704	Areia fina	2,819	0,6012	Moderadamente selecionado	-0,2846	Negativa	0,7649	Platicúrtica	0	100	0	0
S4C2	2,773	Areia fina	2,784	0,4482	Bem selecionado	-0,05144	Aprox. simétrica	0,8858	Platicúrtica	0	100	0	0
S4C3	2,443	Areia fina	2,38	0,6124	Moderadamente selecionado	0,114	Positiva	0,8479	Platicúrtica	0	100	0	0
S4C4	2,398	Areia fina	2,396	0,5383	Moderadamente selecionado	0,01625	Aprox. simétrica	0,9838	Mesocúrtica	0	100	0	0

6.2.5 Resultados – Área Marítima

Os resultados das análises granulométricas das amostras coletadas em áreas marítimas permitiram a delimitação de duas áreas de jazidas potenciais para o fornecimento de areia para as obras de engordamento das praias de Guaratuba. Essas jazidas foram denominadas Área 1 e Área 2 e são ilustradas na FIGURA 76. Os resultados das análises de sedimentos são resumidos no QUADRO 5. O relatório completo de pesquisa mineral, incluindo os laudos técnicos de todas as amostras analisadas consta no ANEXO 6 – RELATÓRIO DE PESQUISA MINERAL DE AREIA NO LEITO OCEÂNICO. Pelas análises, constatou-se que as jazidas 1 e 2 possuem sedimentos arenosos (frações muito fina, fina e média) em quantidade suficiente para atender às obras de engordamento das praias.

FIGURA 76 – LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE EMPRÉSTIMO DE AREIA PARA AS OBRAS DE ENGORDAMENTO.



Jazida	Ponto	E (m)	N (m)
1	1	748.374,99	7.136.245,87
	2	749.082,10	7.135.538,76
	3	746.960,78	7.134.831,65
	4	747.667,89	7.134.124,54
2	5	747.490,77	7.131.377,54
	6	748.375,00	7.130.953,00
	7	747.032,38	7.130.482,04
	8	747.951,15	7.130.072,49

QUADRO 5 – RESULTADOS DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTOS COLETADAS EM ÁREAS MARÍTIMAS.

N.º	Ponto	Profundidade do leito (m)	Espessura de Sedimentos			
			Areia grossa	Areia média	Areia fina	Argila/lama
01	A1	02,30	-	-	-	-
02	A2	06,00	-	-	-	-
03	A6	7,00	-	-	-	3,00
04	A3-A7	9,50	0,11	0,76	3,13	4,00
05	A3-22A	6,5	-	-	-	4,00
06	A3-B3	8,50	0,03	1,23	1,52	1,04
07	A3-B8	10,20	0,64	1,98	0,37	0,01
08	A3-B23	9,80	-	-	-	4,50
09	A3-C4	10,50	0,70	1,04	2,70	3,37
10	A3-C9	10,50	0,09	1,16	2,60	2,16
11	A3-C24	10,40	-	2,00	2,00	1,00
12	A3-D5	11,50	0,07	1,01	4,42	4,20
13	A3-D10	11,00	1,42	0,51	0,06	0,01
14	A3-D25	11,50	0,05	0,70	3,02	2,14
15	A3-E11	10,10	-	-	-	2,00
16	A3-E12	11,20	0,01	0,50	2,61	2,90
17	A3-E26	10,10	-	-	-	5,00
18	A3-01	11,30	0,03	0,70	0,70	0,08
19	A3-F13	11,60	0,05	0,60	1,25	0,10
20	A3-F27	10,80	0,18	1,57	2,07	1,59
21	A3-G28	10,50	0,89	1,69	0,41	0,01
22	A3-G14	12,00	-	1,00	2,00	0,00
23	A3-H15	10,20	-	-	2,00	0,00
24	A3-H16	11,15	0,01	0,90	2,00	2,50
25	A3-H29	10,30	0,01	0,80	1,84	3,27
26	A3-I30	11,40	-	-	2,50	0,50
27	A3-J17	12,20	-	-	2,80	-
28	A3-J18	13,00	0,09	0,97	2,30	0,89
29	A3-J31	11,80	0,02	0,30	0,67	0,02
30	A3-K19	10,20	-	-	2,50	3,50
31	A3-K32	10,10	0,01	0,70	0,81	0,06
32	A3-L20	10,70	-	-	2,00	-
33	A3-L21	12,60	-	-	1,80	-
34	A3-L33	11,70	-	-	-	-
35	A5-1	12,8	-	-	3,20	-
36	A5-3	12,7	-	-	3,00	-
37	A5-3	12,9	-	-	3,50	-
38	A5-4	12,6	-	-	3,10	-
39	A2-1	12,20	-	-	3,15	-
40	A2-2	12,40	-	-	3,00	-
41	A2-5	12,50	-	-	3,25	-
42	A4-3	12,10	-	-	3,30	-
43	A4-6	12,30	-	-	3,40	-
44	A4-2	12,50	-	-	3,20	-

7 MARÉS E NÍVEIS DE ÁGUA

7.1 MARÉ ASTRONÔMICA

Chamam-se de maré astronômica, ou simplesmente “maré”, a variação do nível médio do mar que ocorre em resposta à atração gravitacional exercida pelo Sol e pela Lua e à força centrífuga originada do movimento do sistema Terra-Lua-Sol. A oscilação de nível médio do mar ($\zeta(t)$) pode ser interpretada num determinado ponto do oceano, como uma superposição de ondas periódicas, com períodos (fixos) determinados a partir de fatores astronômicos, que podem ser obtidos através da expressão:

$$\eta(t) = \sum_{j=1}^{N} \zeta_j \, sen\left(\frac{2\pi}{T_j} t - \Phi_j\right) \quad (2)$$

Onde: ζ_j, T_j e Φ_j são respectivamente a amplitude, o período e a fase em graus de cada uma das componentes da série, que são denominadas componentes harmônicas da maré astronômica. Pelo seu caráter determinístico, a maré astronômica num determinado ponto do oceano pode ser prevista se as amplitudes e fase das componentes (válidas para aquele local apenas) forem determinadas. As componentes da maré se propagam pelos oceanos como ondas longas, passando por modificações de amplitude e fase de um local para outro, em função da latitude, da topografia do fundo, etc.

As marés astronômicas têm duas fases: sizígia e quadratura. A maré de sizígia (ou maré viva) acontece nas luas cheia e nova. Nesta fase, as forças gravitacionais da lua e do sol se somam, causando uma elevação da altura da maré maior, ou seja, uma maior diferença entre preamar e baixa-mar. A maré de quadratura (ou maré morta) ocorre nas luas crescente e minguante, e causa uma menor oscilação do nível do mar.

Enquanto os principais períodos de oscilação da maré astronômica são da ordem de 12 e 24 horas, os principais períodos de oscilação da maré meteorológica são usualmente maiores do que 72 horas. Desta forma, uma maneira de se identificar a maré meteorológica em uma medição de nível d’água, é através de uma filtragem da série temporal que elimine os períodos menores do que 72 horas.

As Tábuas de Maré publicadas pela Marinha do Brasil consideram apenas o efeito astronômico da maré. Esta publicação apresenta as alturas e instantes das preamares e baixa-mares para quase todos os portos da costa brasileira. Para Barra de Paranaguá – canal da Galheta, a Tábua de Maré apresenta um nível máximo de sizígia de 1,7 m e o nível médio de 0,79 m (MARINHA DO BRASIL, 2024).

Com base na Carta Náutica 1803 e na Ficha da estação F41 60100, o estudo considerou que para o dimensionamento das estruturas locais a elevação máxima de maré astronômica apresenta um valor de 1,40 m.

7.2 MARÉ METEOROLÓGICA

Chamam-se de maré meteorológica as variações de nível médio do mar que ocorrem devido a dois principais agentes meteorológicos: a incidência do vento sobre a superfície livre, que pode proporcionar o empilhamento de água na costa ou o rebaixamento do nível d'água; e as variações de pressão atmosférica, que podem resultar em aumento ou diminuição do nível médio do mar.

Geralmente, as marés astronômica e meteorológica ocorrem simultaneamente, não sendo uma tarefa trivial identificar a contribuição de cada uma delas nas variações do nível d'água.

A maré meteorológica pode ser o resultado de um forçante local, ou seja, ela pode estar associada diretamente ao vento local ou às variações locais de pressão atmosférica, mas pode estar também associada a efeitos remotos. Isso se deve ao fato das variações de nível médio geradas pelo vento ou pelas variações de pressão atmosférica poderem se propagar pela plataforma continental por milhares de quilômetros. No hemisfério Sul, essa propagação tem sentido de Sul para Norte sendo sua origem na costa de Santa Catarina ou do Rio Grande do Sul. Por todas essas razões e devido aos processos meteorológicos terem caráter aleatório, a análise das causas da maré meteorológica e a sua previsão são uma tarefa muito difícil e exige a análise de longas séries de dados de vento, nível d'água e pressão atmosférica em diferentes pontos.

Utilizando dados de modelos globais, o projeto Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil) também avaliou os níveis de maré meteorológica ao longo da costa brasileira. A base de dados de maré meteorológica do SMC-Brasil, denominada *Global Ocean Surge* (GOS), consiste em séries temporais horárias de variação do nível do mar decorrente de fatores atmosféricos também para o período de 1948 a 2008. No total 24 pontos foram distribuídos ao longo da costa brasileira compondo a base de dados GOS do SMC-Brasil (SMC-BRASIL, 2018). Semelhante ao apresentado para maré astronômica, o documento temático sobre níveis e cotas de inundação do estudo (SMC-BRASIL, 2018) apresenta resultados dos níveis máximos da maré meteorológica e de diferentes percentis de

permanência para toda a costa brasileira. O valor máximo estimado na costa paranaense é de, aproximadamente, 1,3 m e para 99% de não excedência de 0,6 m.

Tendo como base o resultado do percentil de 99% do estudo da SMC-Brasil, para o dimensionamento das estruturas locais foi considerada uma elevação máxima de maré meteorológica no valor de 0,6 m.

7.3 SOBRELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR

Por outro lado, considerando efeitos de longo prazo, foi apresentado em IPCC (2007) um estudo sobre as mudanças climáticas devidas a fatores naturais e humanos. Neste trabalho é realizada uma análise de taxas de elevação do nível do mar e estimadas as contribuições devidas a diferentes fontes, estando o resultado na TABELA 6. O valor observado para a elevação total do nível do mar para o período de 1993 a 2003 foi de 0,31±0,07m por século, isto é, podendo variar de 0,24 a 0,38m.

IPCC (2022) apresenta projeções baseadas em modelos de aumento global do médio do nível do mar (em relação a 1986-2005). Os resultados sugerem uma faixa indicativa de 0,26 a 0,77 m em 2100 para 1,5° C de aquecimento global. Contudo, como o próprio relatório ressalta, estes valores podem variar muito conforme o local estudado.

Assim, considerou-se o valor de 0,5 m como previsão da elevação do nível do mar nos próximos 100 anos.

TABELA 6 – TAXA DE ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR.

Source of sea level rise	**Rate of sea level rise (m per century)**	
	1961-2003	**1993-2003**
Thermal expansion	0,042±0,012	0,16±0,05
Glaciers and ice caps	0,050±0,018	0,077±0,022
Greenland ice sheets	0,05±0,12	0,21±0,07
Antarctic ice sheets	0,14±0,41	0,21±0,35
Sum of individual climate contributions to sea level rise	0,11±0,05	0,28±0,07
Observed total sea level rise	0,18±0,05	0,31±0,07

FONTE: IPCC (2007).

7.4 NÍVEIS DE ÁGUA EXTREMOS

Somando os níveis máximos astronômicos (1,4 m) e meteorológicos (0,6 m) ter-se-ia uma elevação máxima do nível d'água de 2,0 m, referida ao zero DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação).

Somando os valores de previsão do nível máximo de marés, de 2,0 m, com o valor recomendado para a elevação do nível do mar nos próximos 100 anos (de 0,5 m), obtém-se o nível extremo de 2,5 m (DHN). O resumo dessas informações consta na TABELA 7.

TABELA 7 – RESUMO DOS NÍVEIS EXTREMOS PARA GUARATUBA.

Níveis para Guaratuba	Nível (m)
Nível máximo de maré astronômica	1,4
Nível máximo de maré meteorológica	0,6
Elevação do nível médio do mar local para 100 anos	0,5
Nível extremo em relação ao NR	2,5
Nível extremo em relação ao Datum vertical do SGB → Imbituba	1,71

8 MEDIÇÕES DE VAZÃO E VELOCIDADE DA ÁGUA

Em 08 de março de 2024, foram realizados levantamentos de campo para a obtenção de dados referentes às velocidades das correntes e vazão na entrada da baía de Guaratuba. Para isso, foi utilizado um Perfilador Acústico de Correntes por Efeito Doppler (ADCP), acoplado a uma embarcação voadeira com motor de 50 HP (FIGURA 77).

FIGURA 77 – EMBARCAÇÃO UTILIZADA NO LEVANTAMENTO, COM ADCP E GPS ACOPLADOS.

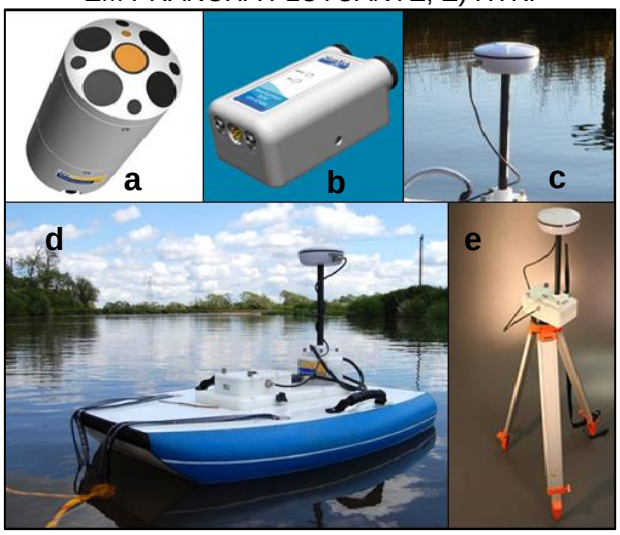


O equipamento utilizado para as medições de vazão foi um ADCP modelo M9, da marca SonTek. Este equipamento é composto por uma sonda com nove transdutores, sendo dois conjuntos de 4 transdutores (um conjunto com frequência 1 MHz e outro com 3 MHz) e um transdutor vertical (para medição da profundidade, com frequência 0,5 MHz). Os transdutores utilizados para medir as velocidades do escoamento possuem inclinação de 25° com o feixe vertical. A sonda possui uma bússola (resolução < 0,75°) para referenciar as medições e um sistema inercial para corrigir inclinações devido à atitude da embarcação (*pitch* e *roll*). O equipamento também possui GPS e PCM (*Power Communications Module* – componente que faz a comunicação entre sonda, GPS, computador e alimenta a sonda através de bateria), permitindo rastrear o posicionamento tridimensional do sensor a cada segundo (SONTEK, 2016). A FIGURA 78 ilustra os diferentes componentes do equipamento ADCP.

O procedimento de medição (FIGURA 79) consiste na realização de travessias (margem a margem), com o equipamento ADCP submerso (próximo ao nível d'água) e

apontando para baixo. Durante a travessia, os transdutores do ADCP emitem pulsos acústicos que refletem no leito e nas partículas de sedimento em suspensão na coluna d'água, retornando ao sensor. Esses pulsos refletidos são recebidos e interpretados pelo equipamento, fornecendo informações sobre: profundidades; velocidades da água em diversos pontos da seção transversal (células de medição); e velocidade de deslocamento do equipamento. Ao se integrar as velocidades do escoamento ao longo da seção transversal, é possível calcular a vazão.

FIGURA 78 – EQUIPAMENTO ADCP. A) SONDA; B) PCM; C) GPS; D) SONDA, PCM E GPS MONTADOS EM PRANCHA FLUTUANTE; E) RTK.



FONTE: ADAPTADO DE SONTEK (2016).

FIGURA 79 – PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO DE VAZÃO COM EQUIPAMENTO ADCP.

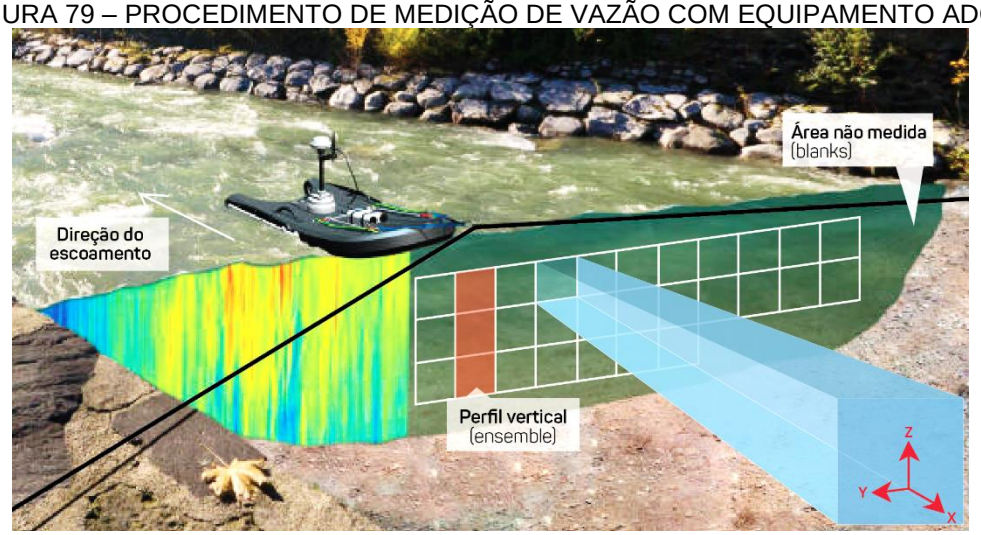


FIGURA 80 – BASE FIXA GPS.



Como os resultados do ADCP são diretamente influenciados pela velocidade do som na água, é necessário calculá-la para garantir a confiabilidade dos dados medidos. Para isso foi utilizada uma sonda CastAway CTD (FIGURA 81), que ao ser baixada na coluna de água, permitiu a obtenção dos perfis de temperatura, condutividade, salinidade e velocidade do som na água (FIGURA 82). Os locais de medição com ADCP e CTD são ilustrados na FIGURA 83. A medição com CTD ocorreu em 08/03/2024 às 11:42 h.

FIGURA 81 – SONDA CASTAWAY CTD.



FONTE: FORESTRY SUPLIERS (2024); XYLEM (2024).

FIGURA 82 – PERFIS DE TEMPERATURA, CONDUTIVIDADE, SALINIDADE E VELOCIDADE DO SOM NA ÁGUA MEDIDOS COM CASTAWAY CTD EM 08/03/2024 ÀS 11:42 H.

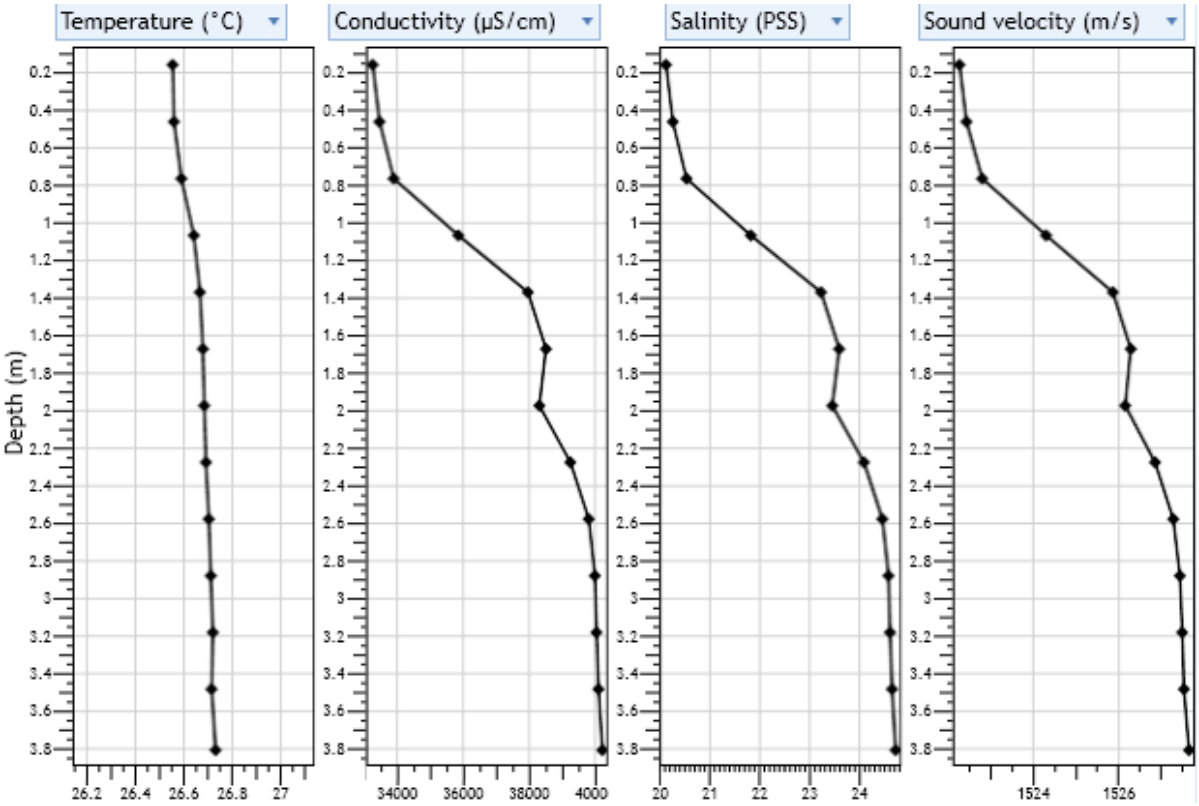


FIGURA 83 – LOCAIS DE MEDIÇÃO COM ADCP E CTD.



É interessante observar que a salinidade na entrada da Baía de Guaratuba variou entre 20 pss (*practical salinity scale*) na superfície até 25 pss no fundo (profundidade = 3,8

m), por conta da estratificação da coluna de água em função do encontro da água do mar com a água doce proveniente da baía.

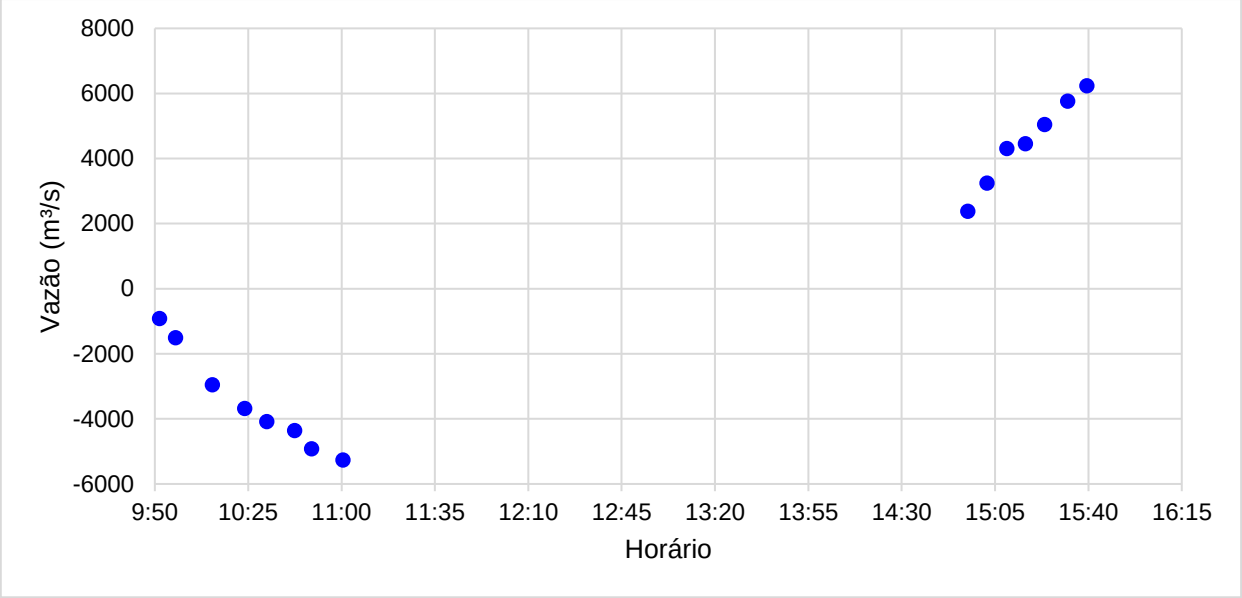
Após a calibração da bússola do ADCP, foram iniciadas as medições de vazão em 08/03/2024 por volta de 09:50 h da manhã. Foram realizadas travessias consecutivas de margem a margem até as 11:00 h, período em que a maré estava enchendo, portanto, com vazões aumentando gradativamente no sentido de leste para oeste, isto é, para dentro da baía. As medições foram retomadas por volta de 14:55 h, continuando até 15:45 h, período em que a maré estava vazando (sentido de oeste para leste), isto é, com escoamento para fora da baía.

Os resultados das medições de vazão com ADCP são apresentados na TABELA 8 e na FIGURA 84. A seção transversal medida possui aproximadamente 552 m de largura. A margem direita corresponde à ponta da praia de Caieiras, e a margem esquerda à Prainha. Vazões negativas indicam maré enchente (sentido de leste para oeste), enquanto vazões positivas indicam maré vazante (oeste para leste).

TABELA 8 – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE VAZÃO COM ADCP.

Travessia ID	Arquivo	Margem início	Hora início	Hora término	Duração (s)	Largura (m)	Área (m)	Velocidade média (m/s)	Vazão (m³/s)
1	20240308095207	Direita	9:52:08	9:57:49	341,0	541	8529	0,11	-916,0
2	20240308095813	Esquerda	9:58:13	10:04:12	359,0	557	8462	0,18	-1510,0
3	20240308101156	Direita	10:11:56	10:19:28	452,0	556	9199	0,32	-2950,0
4	20240308102346	Esquerda	10:24:07	10:28:52	285,0	562	9561	0,38	-3680,0
5	20240308103153	Direita	10:32:20	10:41:18	538,0	560	9055	0,45	-4090,0
6	20240308104245	Esquerda	10:42:45	10:48:21	336,0	559	9703	0,45	-4360,0
7	20240308104901	Direita	10:49:10	10:58:20	550,0	563	9491	0,52	-4920,0
8	20240308110054	Esquerda	11:00:54	11:06:36	342,0	530	9600	0,55	-5270,0
9	20240308145506	Esquerda	14:55:07	15:01:56	409,0	563	8971	0,26	2380,0
10	20240308150220	Direita	15:02:20	15:09:27	427,0	553	8764	0,37	3240,0
11	20240308150942	Esquerda	15:09:42	15:16:21	399,0	561	9054	0,48	4310,0
12	20240308151641	Direita	15:16:41	15:23:01	380,0	554	8932	0,50	4450,0
13	20240308152357	Esquerda	15:23:58	15:29:30	332,0	545	8999	0,56	5040,0
14	20240308095207	Direita	15:32:30	15:39:23	413,0	521	8885	0,65	5760,0
15	20240308095813	Esquerda	15:39:42	15:44:55	313,0	548	8956	0,70	6230,0
					Média:	**552**			

FIGURA 84 – VARIAÇÃO DAS VAZÕES MEDIDAS.



Nota-se uma variação significativa de vazão no período monitorado, desde 916 m³/s no início da manhã até 5270 m³/s no final da manhã (período em que a maré estava enchendo). À tarde, a maré passou a vazar, registrando-se um aumento de vazão de 2380 m³/s (15:00 h) até 6230 m³/s (15:44 h).

A FIGURA 85 e a FIGURA 86 ilustram as velocidades da água medidas com ADCP na entrada da Baía de Guaratuba nos momentos de maré enchente e vazante em que foram registradas as maiores vazões. O gráfico superior indica a intensidade das velocidades em cada célula da seção transversal medida. E o gráfico inferior indica a variação da velocidade média na vertical (coluna d'água) ao longo da seção transversal. Observa-se que a velocidade da água alcançou 1,2 m/s em alguns pontos da seção. Também se destaca a grande profundidade do canal próximo à Prainha, com locais superando 30 m de profundidade.

Esses dados medidos em campo foram úteis para a calibração do modelo hidromorfológico (simulado com o software Delft3D, conforme apresentado no Relatório do EVTEA), tanto em termos de vazões observadas na entrada da Baía de Guaratuba, quanto em termos de magnitude das velocidades das correntes.

FIGURA 85 – VELOCIDADES DA ÁGUA MEDIDAS COM ADCP NA ENTRADA DA BAÍA DE GUARATUBA, EM 08/03/20204, 11:00 H, VAZÃO = 5270 M³/S (MARÉ ENCHENTE).

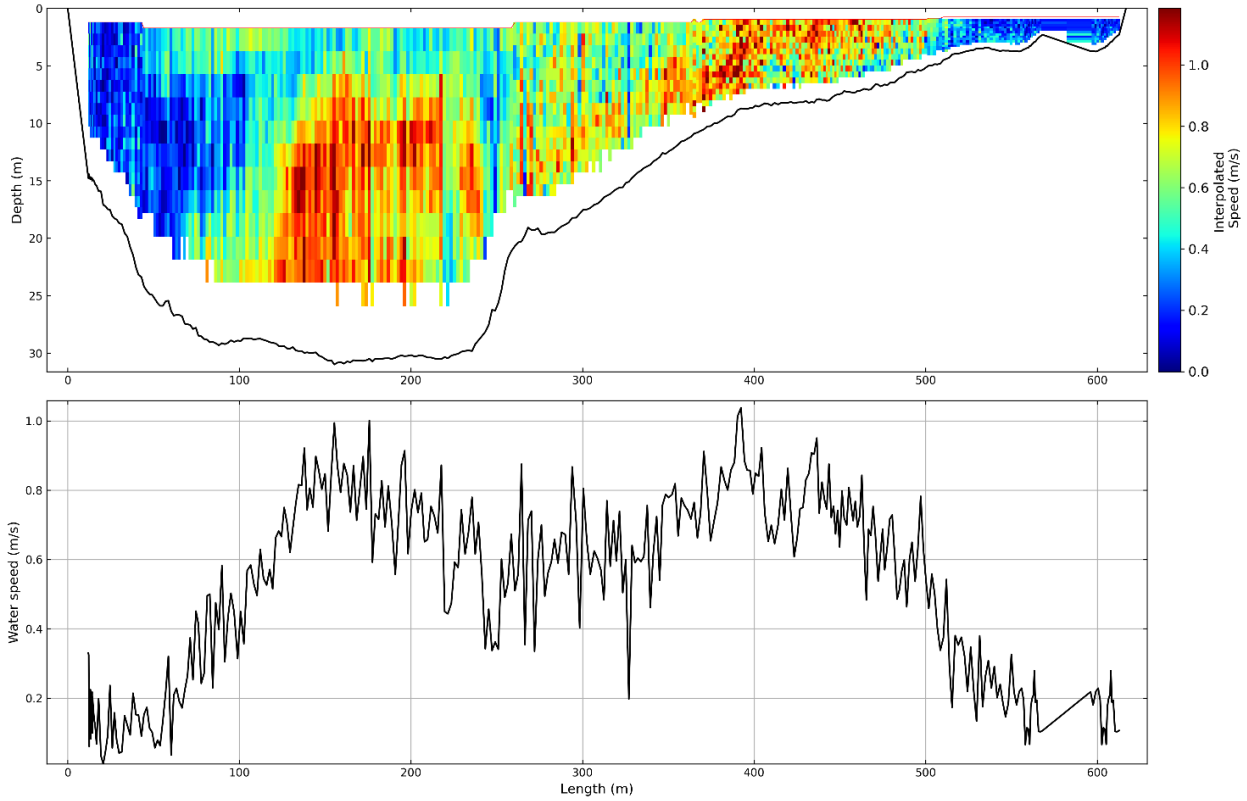
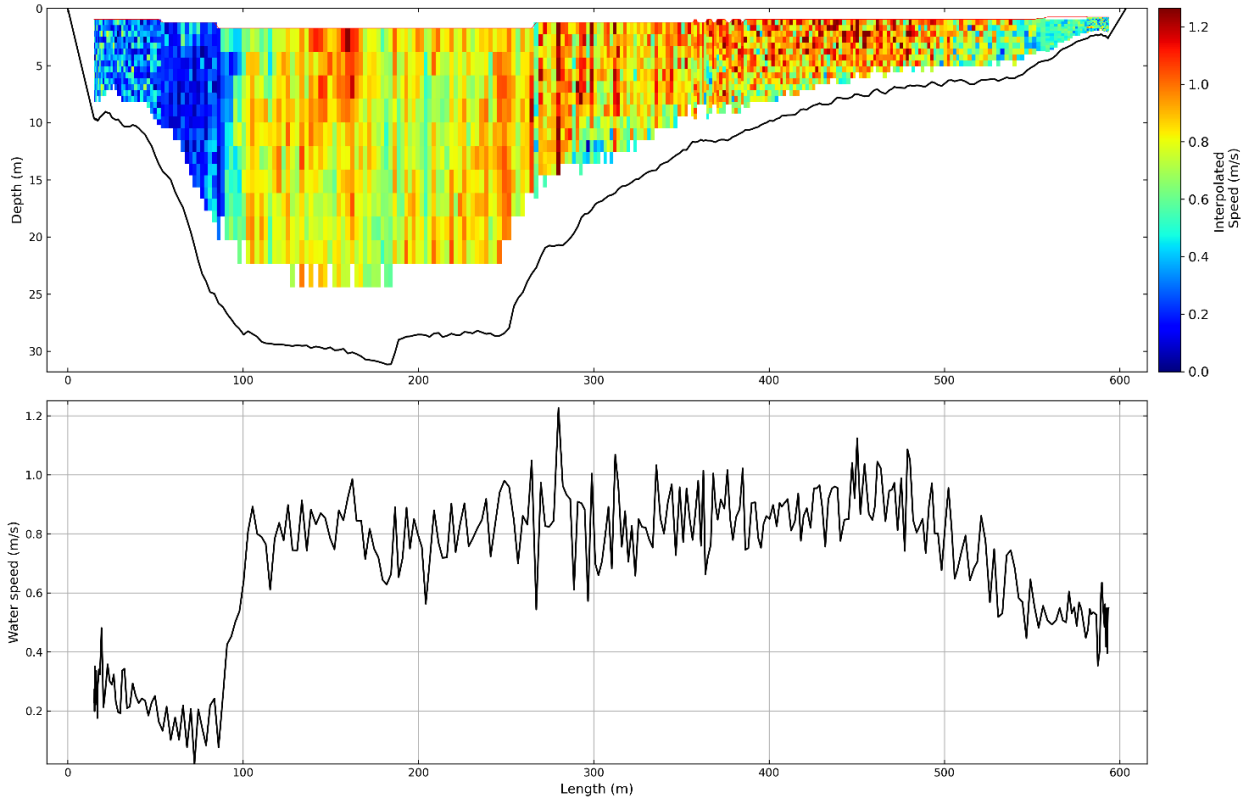


FIGURA 86 – VELOCIDADES DA ÁGUA MEDIDAS COM ADCP NA ENTRADA DA BAÍA DE GUARATUBA, EM 08/03/20204, 15:44 H, VAZÃO = 6230 M³/S (MARÉ VAZANTE).



9 DETERMINAÇÃO DA ONDA DE PROJETO

Este capítulo apresenta uma revisão da determinação da onda de projeto, a qual é essencial para o dimensionamento das estruturas marítimas, tais como espigões, *headlands* e guias-correntes.

O clima de ondas no local é normalmente caracterizado pela altura significativa das ondas (Hs), sendo a mesma associada à média do terço mais elevado das alturas de onda observadas. Supondo uma distribuição de altura de onda de Rayleigh, outros parâmetros de altura da distribuição podem ser correlacionados com Hs. De acordo com Kamphuis (1996), a correlação entre as alturas é expressa pela equação (3).

$$\boldsymbol{Hs_{\%} = K_H\, H_s} \tag{3}$$

O valor de K_H pode variar em função da série e da taxa de não excedência definida, como por exemplo $Hs_{95\%}$ ou $Hs_{99\%}$. De acordo com USACE (1984), para obras de proteção costeiras, pode-se avaliar as condições de excedência de 10, 5 e 1%, conforme as equações (4) a (6).

$$\boldsymbol{Hs_{90} \approx 1,27\, H_s} \tag{4}$$

$$Hs_{95} \approx 1{,}37\, H_s \tag{5}$$

$$Hs_{99} \approx 1{,}67\, H_s \tag{6}$$

De acordo com USACE (1984), a escolha da onda máxima para o projeto depende se a estrutura é definida como rígida, semirrígida ou flexível. A publicação sugere que, para as estruturas rígidas, onde uma onda alta pode causar falha de toda a estrutura, a altura de onda de projeto seja baseada em Hs_{99}. Para estruturas semirrígidas, a altura de onda de projeto é selecionada dentro de uma faixa de Hs_{90} até Hs_{99}. Para estruturas flexíveis, a altura de onda pode variar de Hs_{95} até Hs_{99}.

As obras costeiras devem ser projetadas em função da maior força de uma única onda esperada durante sua vida útil (GODA, 1985). A maior força seria exercida pela onda mais alta ao longo de um conjunto de ondas aleatórias, correspondendo à altura de onda máxima (Hmax). O valor para Hmax também pode ser estimado em função do número de ondas aplicadas na distribuição de Rayleigh (N), conforme a equação (7).

$$\boldsymbol{H_{max} = 0,707\, \sqrt{\ln N}\; H_s} \tag{7}$$

Outras publicações apresentam valores de K_H para o dimensionamento de obras costeiras. USACE (1986) considera um valor de K_H de 1,86 para projetos de quebra-mares e guias-correntes. Em USACE (1995), para o dimensionamento de paredões e revestimentos costeiros, é sugerido um valor de K_H de 1,67. Rakha (1995) encontrou K_H = 1,5 para ondas quebrando de forma estável e irregular em uma inclinação horizontal e K_H = 1,7, quando as ondas estáveis são refletidas. Para quebra-mares mistos, Goda (1985) sugeriu o valor de 1,8 até 1,5 para K_H. Kamphuis (1996) avaliou a condição para águas rasas sugerindo uma equação em função da profundidade do local de interesse, comprimento da onda e um K_H =1,5 a 1,7, considerando ações de quebra das ondas. Para o estudo em questão foi utilizado o valor sugerido por USACE (1995) com o valor de 1,67.

9.1 ANÁLISE DE ONDAS EXTREMAS

A definição dos limites superiores para variáveis maregráficas pode ser conduzida através de uma análise de frequência. O propósito primordial da análise de frequência é estabelecer uma relação entre a magnitude dos eventos extremos e a frequência com que ocorrem, utilizando distribuições de probabilidade.

Quando se trata de valores máximos, a probabilidade de dependência entre eventos extremos é reduzida, dado o intervalo de tempo entre cada ocorrência. Para a análise de máxima onda, foram selecionados os valores de Hs mais elevados de cada ano da série histórica, resultando numa série de máxima com 24 amostras para cada direção. Utilizando o valor de K_H=1,67, os valores foram transformados em Hmáx. Considerando a análise de direção e intensidade de Hmáx mais relevantes, foram realizadas análises nas direções Leste e Sudeste. A TABELA 9 apresenta as séries resultantes.

TABELA 9 – SÉRIE HISTÓRICA MÁXIMA ANUAL DE HMÁX, HS E TP.

Data	Ano	Leste			Data	Ano	Sudeste		
		Hmax (m)	Hs (m)	Tp (s)			Hmax (m)	Hs (m)	Tp (s)
02/11/2000	2000	2,19	1,31	8	17/12/2000	2000	3,07	1,84	8
08/10/2001	2001	3,09	1,85	7	07/05/2001	2001	2,63	1,58	12
22/03/2002	2002	2,55	1,53	8	21/09/2002	2002	3,01	1,80	9
10/09/2003	2003	2,37	1,42	10	28/10/2003	2003	2,57	1,54	7
24/12/2004	2004	3,19	1,91	8	12/09/2004	2004	2,96	1,77	8
23/09/2005	2005	2,24	1,34	8	10/08/2005	2005	4,71	2,82	11
14/11/2006	2006	2,32	1,39	9	20/11/2006	2006	2,91	1,74	8
27/09/2007	2007	2,39	1,43	7	11/02/2007	2007	2,54	1,52	6
23/11/2008	2008	3,81	2,28	9	12/11/2008	2008	3,24	1,94	7

Data	Ano	Leste			Data	Ano	Sudeste		
		Hmax (m)	Hs (m)	Tp (s)			Hmax (m)	Hs (m)	Tp (s)
03/01/2009	2009	3,23	1,93	8	04/01/2009	2009	3,57	2,14	9
08/03/2010	2010	2,84	1,70	11	09/04/2010	2010	3,22	1,93	14
22/10/2011	2011	2,47	1,48	9	24/08/2011	2011	3,01	1,80	8
01/01/2012	2012	2,91	1,75	7	01/01/2012	2012	2,86	1,71	8
21/03/2013	2013	2,82	1,69	7	26/08/2013	2013	2,64	1,58	9
18/02/2014	2014	2,71	1,62	9	15/02/2014	2014	3,89	2,33	9
30/03/2015	2015	2,39	1,43	12	12/05/2015	2015	3,11	1,86	11
26/10/2016	2016	2,42	1,45	7	19/11/2016	2016	2,81	1,68	9
20/05/2017	2017	3,82	2,29	9	12/08/2017	2017	3,36	2,01	15
09/11/2018	2018	2,92	1,75	9	18/09/2018	2018	2,65	1,59	12
22/07/2019	2019	2,84	1,70	15	24/11/2019	2019	2,81	1,68	7
07/12/2020	2020	3,03	1,81	8	30/10/2020	2020	2,76	1,65	6
23/04/2021	2021	2,72	1,63	12	22/04/2021	2021	2,89	1,73	11
28/11/2022	2022	3,15	1,89	9	10/08/2022	2022	4,94	2,96	10
03/09/2023	2023	2,32	1,39	10	15/06/2023	2023	3,08	1,84	9

Para avaliar a condição de ondas extremas, foram considerados quatro tipos de distribuições: Gumbel, Log-normal, Normal e Exponencial. Os resultados expressam as alturas de onda para um determinado tempo de recorrência (em anos), sendo esses os valores característicos para a determinação da onda de projeto em águas profundas (hd0). Para cada distribuição foram calculados valores de hmáx para diferentes tempos de recorrência, conforme apresentado na TABELA 10 e na TABELA 11, com os ajustes sendo ilustrados na FIGURA 87 e na FIGURA 88.

TABELA 10 – RESULTADOS DAS ALTURAS DE ONDAS MÁXIMAS PARA DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA E DISTRIBUIÇÕES, NA DIREÇÃO LESTE.

TEMPO DE RECORRÊNCIA (anos)	Incidência de Leste							
	Gumbel		Log-Normal		Normal		Exponencial	
	Hs (m)	Hmáx (m)	Hs (m)	Hmáx (m)	Hs (m)	Hmáx (m)	Hs (m)	Hmáx (m)
2	1,62	2,71	1,65	2,75	1,67	2,78	1,58	2,64
5	1,86	3,11	1,88	3,13	1,89	3,16	1,83	3,06
10	2,02	3,37	2,01	3,36	2,01	3,36	2,02	3,37
20	2,17	3,62	2,13	3,55	2,11	3,52	2,21	3,68
25	2,22	3,70	2,16	3,61	2,14	3,57	2,27	3,78
50	2,37	3,95	2,27	3,79	2,22	3,71	2,45	4,10
100	2,51	4,20	2,37	3,95	2,29	3,83	2,64	4,41
500	2,85	4,77	2,58	4,31	2,44	4,08	3,08	5,14
1000	3,00	5,01	2,67	4,45	2,50	4,18	3,26	5,45
10000	3,49	5,82	2,94	4,91	2,67	4,46	3,89	6,49

TABELA 11 – RESULTADOS DAS ALTURAS DE ONDAS MÁXIMAS PARA DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA E DISTRIBUIÇÕES, NA DIREÇÃO SUDESTE.

TEMPO DE RECORRÊNCIA (anos)	Incidência de Sudeste							
	Gumbel		Log-Normal		Normal		Exponencial	
	Hs (m)	Hmáx (m)	Hs (m)	Hmáx (m)	Hs (m)	Hmáx (m)	Hs (m)	Hmáx (m)
2	1,82	3,03	1,85	3,09	1,88	3,13	1,77	2,95
5	2,14	3,57	2,14	3,57	2,18	3,65	2,10	3,51
10	2,35	3,93	2,30	3,85	2,35	3,92	2,35	3,93
20	2,56	4,27	2,45	4,09	2,48	4,14	2,61	4,35
25	2,62	4,38	2,50	4,17	2,52	4,20	2,69	4,49
50	2,82	4,72	2,63	4,39	2,63	4,39	2,94	4,91
100	3,02	5,05	2,75	4,60	2,73	4,55	3,19	5,33
500	3,48	5,82	3,03	5,06	2,93	4,89	3,78	6,32
1000	3,68	6,15	3,14	5,24	3,01	5,02	4,04	6,74
10000	4,34	7,24	3,50	5,84	3,24	5,40	4,88	8,14

FIGURA 87 – AJUSTE DAS CURVAS GERADAS PELAS DISTRIBUIÇÕES PARA HMÁX – LESTE.

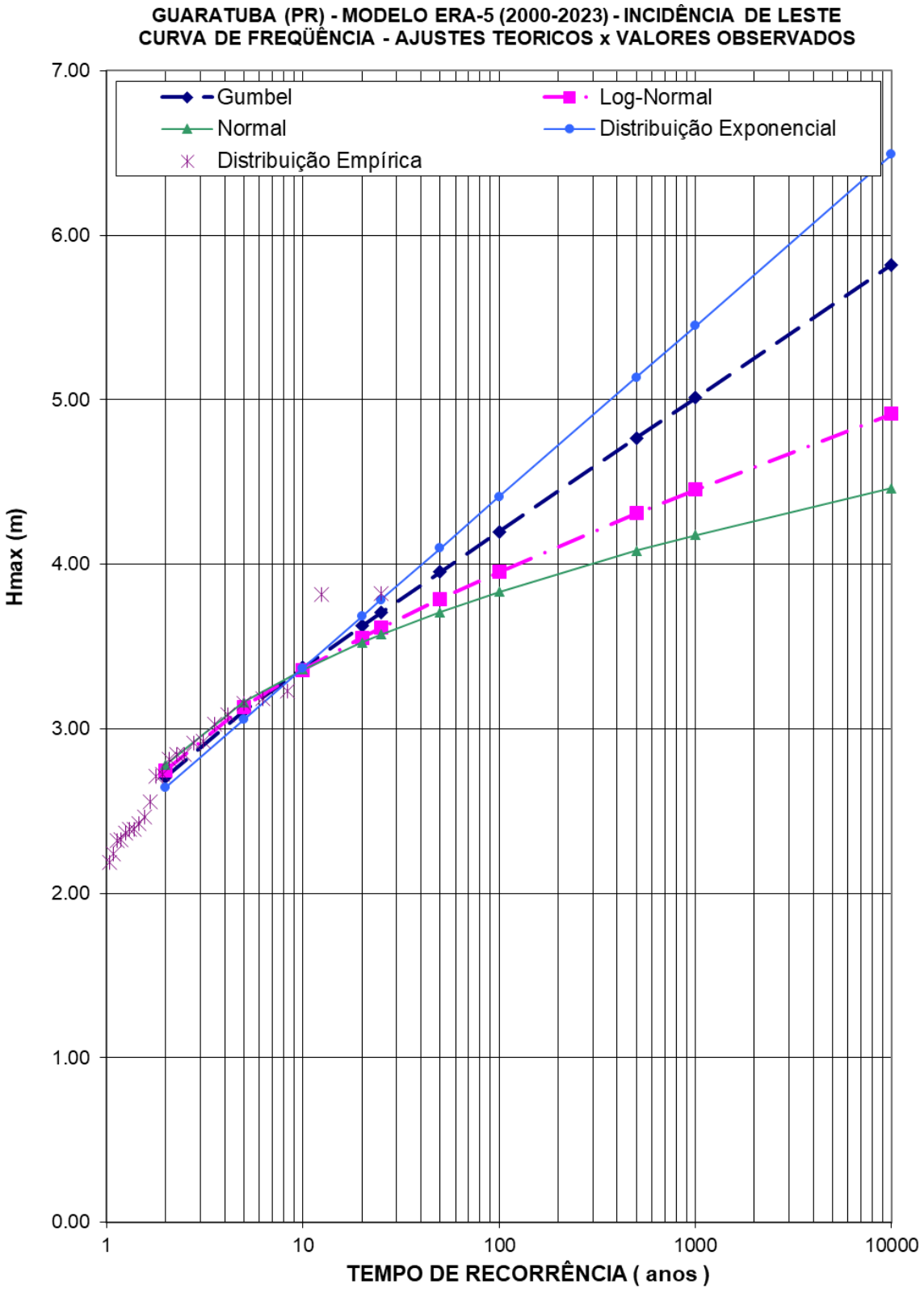
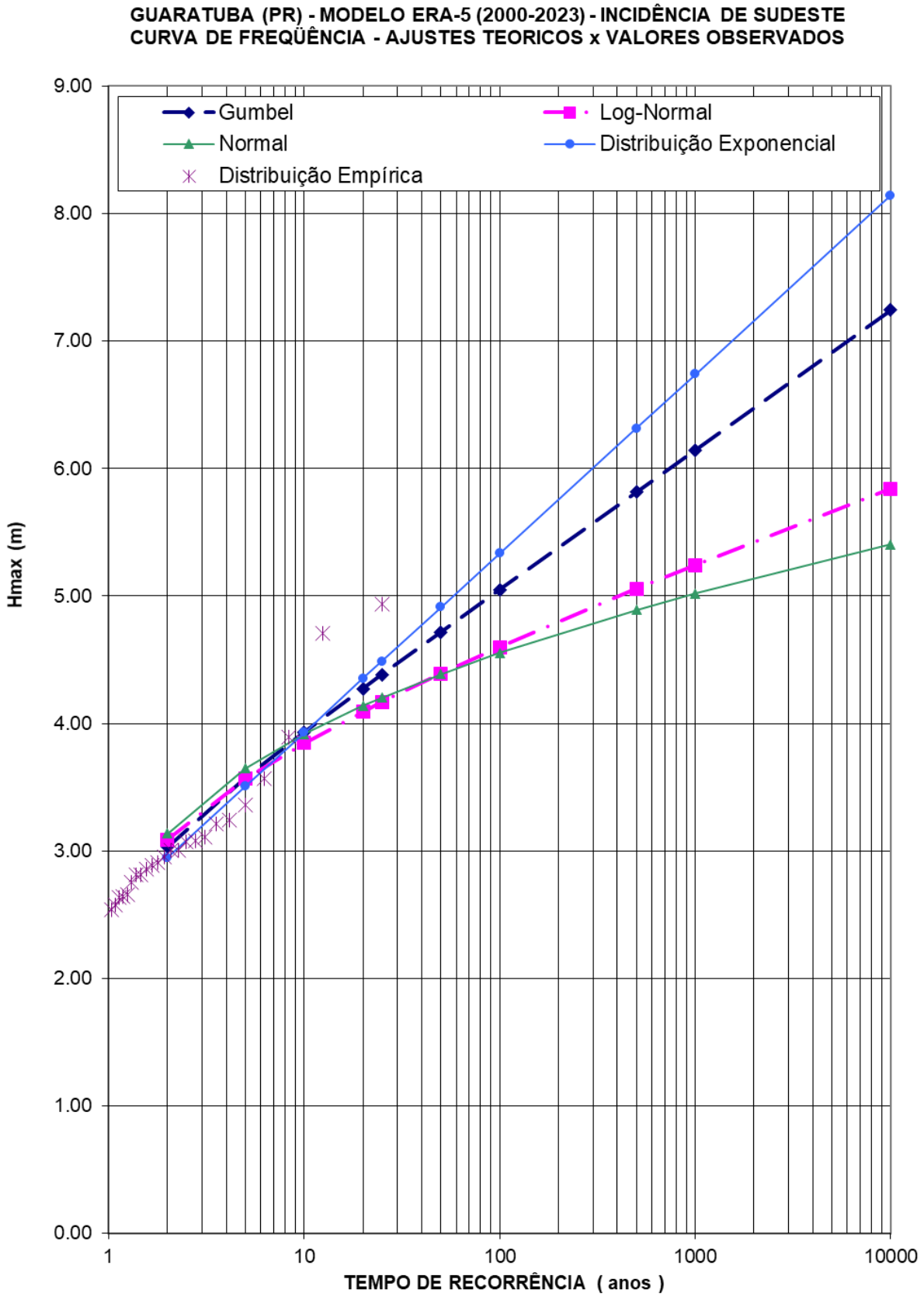


FIGURA 88 – AJUSTE DAS CURVAS GERADAS PELAS DISTRIBUIÇÕES PARA HMÁX – SUDESTE.



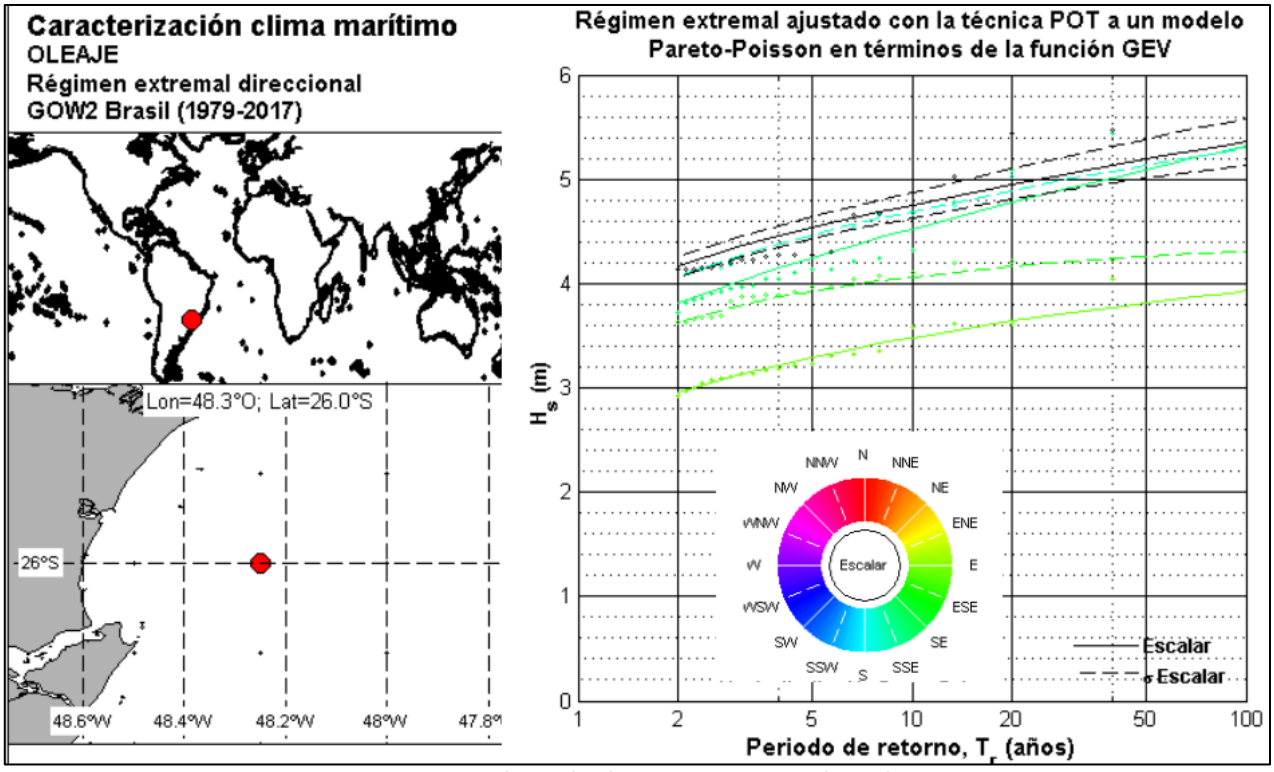
Considerando os resultados obtidos na distribuição de Gumbel, para a TR 100 anos, a onda de projeto em águas profundas (Hd_0) é apresentada na TABELA 12.

TABELA 12 – RESULTADOS DAS ALTURAS DE PROJETO (HD) PARA TEMPO DE RECORRÊNCIA DE 100 ANOS, CONFORME DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL.

TEMPO DE RECORRÊNCIA (anos)	Incidência de Leste		Incidência de Sudeste	
	Hs_{TR} (m)	$Hmáx_{TR}$ (m)	Hs_{TR} (m)	$Hmáx_{TR}$ (m)
100	2,51	4,20	3,02	5,05

Os resultados obtidos estão próximos aos apresentados em PDS-Litoral (2019), que avaliou as características das ondas em três pontos do litoral paranaense. O estudo desenvolvido pelo Governo do Estado do Paraná, em parceria com outras instituições, utilizou o banco de dados do *Global Ocean Waves* (GOW) e do *Downscaling Ocean Waces* (DOW) para determinar ondas extremas de inundação. A avaliação foi realizada usando uma série de 1979 até 2017, sendo as alturas de ondas máximas anuais ajustadas a uma linha configurada para uma função GEV de máximos. No ponto 1 do estudo, próximo a Guaratuba, foram previstas ondas superiores a 5 m de altura para uma TR100, conforme apresentado na FIGURA 89.

FIGURA 89 – ANÁLISE DE ONDAS EXTREMAS PRÓXIMO A GUARATUBA.



FONTE: Adaptado de PDS-LITORAL (2019).

9.2 PERÍODO (TP) PARA ONDA DE PROJETO (HD)

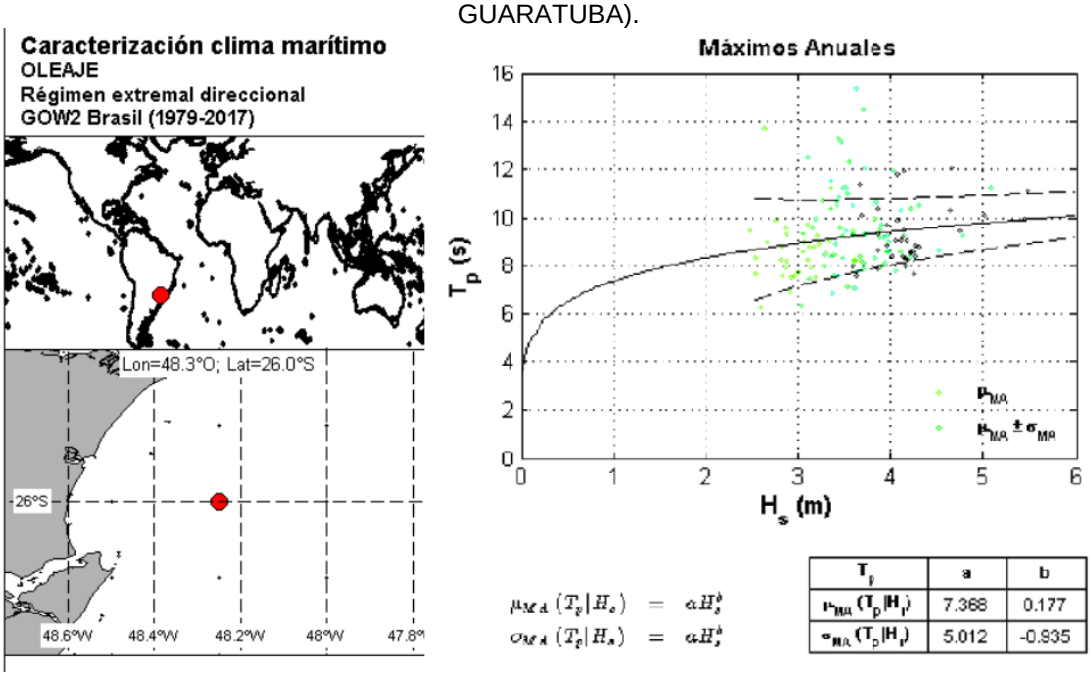
Para Goda (1985) e USACE (1995), o período da onda de projeto é equivalente aos valores de Tp para Hs. A TABELA 9 apresenta uma série histórica das alturas de Hs máximas anuais, para diferentes direções, e com os seus respectivos períodos de pico (Tp). Considerando os resultados da análise de máximas para os maiores tempos de recorrência (TR), os valores de Hd calculados devem ter um período de pico (Tp) correspondente.

Considerando as Hs para cada ano na direção Leste e Sudeste, foi traçada uma correlação entre Hs e Tp, de acordo com a equação (8).

$$\boldsymbol{Tp = 6,797\ H_s^{0,2656}} \quad (8)$$

A equação de correlação gerada é semelhante ao apresentado em PDS-Litoral (2019), que avaliou as características das ondas em três pontos do litoral paranaense. O estudo desenvolvido pelo Governo do Estado do Paraná, em parceria com outras instituições, utilizou o banco de dados do *Global Ocean Waves* (GOW) e do *Downscaling Ocean Waces* (DOW) para determinar ondas extremas de inundação. A avaliação foi realizada usando uma série de 1979 até 2017. No ponto 1 do estudo, próximo a Guaratuba, foram avaliadas ondas de máximas superiores a 5 m de altura e com períodos entre 9 e 11 segundos. A FIGURA 90 apresenta o gráfico e a tabela com os valores da curva gerada para determinação dos períodos na condição extrema.

FIGURA 90 – RESULTADOS DA CORRELAÇÃO HS95% E TP PARA O PONTO 1 (PRÓXIMO DE GUARATUBA).



FONTE: Adaptado de PDS-LITORAL (2019).

A TABELA 13 apresenta a comparação das equações para uma onda com 3,02 metros e altura para TR 100. O erro absoluto entre os resultados é inferior a 2%. O período da onda de projeto (Td) considerado no estudo foi de 9,11 s.

TABELA 13 – RESULTADOS DE TP UTILIZANDO AS EQUAÇÕES DE CORRELAÇÃO TP E HS.

Equação da curva ajustada	Hs_{TR100} (m)	Tp (s)
$Tp = 6{,}797\ H_s^{0{,}2656}$	3,02	9,11
$Tp = 7{,}368\ H_s^{0{,}177}$	3,02	8,96

9.3 CONDIÇÕES DE ÁGUAS RASAS

À medida que a onda sai da condição de águas profundas e se desloca para águas rasas, ela passa por alterações em sua velocidade de propagação. Essa mudança na velocidade ocorre devido à interação entre a onda e a mudança na profundidade da água. À medida que a profundidade diminui, a onda encontra mais resistência do leito marinho, fazendo com que sua velocidade diminua.

Uma alteração significativa que ocorre em águas rasas é a possibilidade de acompanhar uma onda individual à medida que avança sobre o fundo. Nesse caso, as ondas se comportam mais como uma coleção de ondas solitárias, cada uma independente da outra, do que um grupo intimamente ligado dentro de um trem de ondas.

Além de afetar a velocidade, a transição de águas profundas para rasas causa mudanças na altura (H) e no comprimento (L) das ondas, mantendo apenas o período (T) inalterado. Ao contrário da altura, o comprimento de uma onda em águas rasas diminui continuamente à medida que a profundidade diminui, sendo proporcional à redução da velocidade da onda. O efeito dessa redução, na separação de crista a crista, aumenta a inclinação das ondas (H/L) ao entrarem em águas rasas. Esse aumento na inclinação é inicialmente pequeno, porque a tendência do encurtamento do comprimento de onda em aumentar a inclinação das ondas é parcialmente contrabalançada por suas amplitudes inicialmente mais baixas. Esse fenômeno é conhecido como empolamento da onda.

Uma segunda alteração leva a um fenômeno chamado refração, que corresponde a uma curvatura da direção de deslocamento de uma onda, à medida que encontra fatores que afetam sua velocidade, como por exemplo o desalinhamento das curvas batimétricas. A curvatura sempre ocorre de tal forma que a onda busca se alinhar com os contornos do leito. Essa é a razão pela qual as ondas em uma praia estão sempre próximas e paralelas à linha costeira antes de quebrarem.

Quando as ondas encontram uma barreira proeminente, como um quebra-mar, um molhe ou um promontório mais avançado, parte da energia da onda penetra na área de sombra, localizada atrás da barreira, por processo chamado de difração. Isso pode resultar em uma ação significativa de uma onda nessa área. Nessas circunstâncias, as ondas difratadas não contornam a barreira no sentido de serem refratadas, mas se originam na ponta da barreira, que atua como uma fonte de ondas ao dispersar as ondas originais que chegam em todas as direções.

Além dos efeitos refrativos e difrativos, as ondas que atingem uma costa podem ser refletidas total ou parcialmente de volta para o mar. A quantidade de energia das ondas refletidas depende da inclinação da praia e do seu comprimento de onda. Quanto maiores as ondas para uma determinada inclinação da praia, maior será a reflexão. Para ondas que se propagam em praias mais planas, de baixa inclinação do leito, quase toda a energia das ondas é dissipada durante a quebra da onda. Assim, pouca energia retorna como ondas refletidas. Pode-se considerar que, em praias suavemente inclinadas, a reflexão de onda é desprezível.

No efeito de quebra de onda, a energia cedida pelas ondas é convertida na formação de correntes, turbulência, ruído e movimento de sedimentos na praia.

Dado um clima de ondas em águas profundas, as características das ondas podem ser transferidas para uma localização em águas rasas, até a linha de quebra. Considerando a metodologia da onda unidirecional, a combinação dos efeitos da condição de águas rasas pode ser descrita conforme equação (9).

$$\boldsymbol{H = K_r\, K_d\, K_s\, H_0} \qquad (9)$$

Onde Kr é o coeficiente de refração, Kd o coeficiente de difração, Ks o coeficiente de empolamento, Ho é a altura da onda em águas profundas e H é a altura da onda em águas rasas. A equação pode ainda adicionar um coeficiente de reflexão, caso seja relevante.

As condições de onda de projeto avaliadas utilizando os dados do modelo ERA-5 apresentam características para águas profundas. Com o deslocamento da onda para zonas mais rasas, as características da onda devem ser alteradas, principalmente pela influência do fundo. Essas alterações devem ser avaliadas na estimativa da onda para determinação da onda de projeto. Visto os diferentes efeitos que a onda pode sofrer no deslocamento até as estruturas previstas, deve-se subdividir a linha de costa.

9.4 SUBDIVISÃO DA LINHA DE COSTA

As alterações das características da linha de costa no município de Guaratuba, devem ser avaliadas, subdividindo a extensão da praia. Como critério, foram verificadas duas condições, sendo a primeira a angulação da linha de costa e a segunda a zona de sombreamento (difração). No total a extensão costeira foi subdividida em 7 partes. O QUADRO 6 e a FIGURA 91 resumem e ilustram as subdivisões criadas.

QUADRO 6 – RESUMO DAS SUBDIVISÃO DA LINHA DE COSTA

Subdivisão	sub1	sub2	sub3	sub4	sub5	sub6	sub7
Ponto inicial (UTM)	744216,46 7134366,0	743705,04 7134718,2	743721,52 7135204,6	744219,96 7136482,0	744134,69 7137156,6	744052,99 7137924,8	744441,61 7138041,0
Ponto Final (UTM)	743705,04 7134718,2	743721,52 7135204,6	744163,32 7136220,2	744134,69 7137156,6	743682,22 7137320,5	744441,61 7138041,0	745033,50 7138285,8
Extensão (m)	687	488	1111	591	470	427	776
Ângulo (º) – Ref. Norte	122	358	23	177	110	80	55
Ângulo (º) - Ref. Sudeste	167	47	68	42	20	125	100
Ângulo (º) - Ref. Leste	32	92	113	87	155	170	145

FIGURA 91 – SUBDIVISÕES DA LINHA DE COSTA GUARATUBA.



A zona sub1 localiza-se mais próxima ao Morro do Cristo, tendo sua face voltada para incidência de ondas da direção nordeste (NE). Entretanto, como as maiores ondas são incidentes de leste (E) e sudeste (SE), deve-se avaliar os efeitos de refração e difração para essa zona. As ondulações vindas na direção sudeste devem apresentar efeitos de difração superiores, devido à proteção natural gerada pelo Morro do Cristo. A região também se caracteriza por apresentar bancos de areia, se caracterizando como uma região mais rasa.

A zona sub2 tem características de transição, apresentando a face voltada para incidência de ondas na direção leste (E). A região apresenta uma faixa de praia menor que as outras subdivisões da Praia Central de Guaratuba, apresentando características de erosão. Para ondas vindas de sudeste, a região está fora da zona de proteção gerada pelo Morro do Cristo, apresentando apenas efeitos de refração.

A subdivisão mais suscetível ao ataque frontal de ondas é a zona sub3, que é voltada para direção sudeste. A zona não apresenta a proteção do Morro do Cristo e deve apresentar um efeito de refração mínimo.

A subdivisão sub4, localiza-se na praia de Caieiras, sendo a zona com a maior exposição nessa área. Apesar da face ser direcionada para incidência de leste, o banco de areia gerado pela desembocadura da baía de Guaratuba força a quebra da onda em pontos distantes da linha de costa, gerando uma proteção para ondulações provenientes dessa direção. As ondulações incidentes de sudeste devem apresentar efeitos de refração, reduzindo a ação das ondas no local.

Com a face projetada na direção nordeste, a zona sub5 é uma das subdivisões mais protegidas do efeito das ondas. Além da direção, a presença do banco de areia gerado pela desembocadura impede a ação de ondas com alturas elevadas. Entretanto, o local é fortemente impactado pelas correntes de maré (enchente e vazante) da baía, sendo necessário a avaliação das velocidades no local.

Localizada na Prainha, a subdivisão sub6 tem características semelhantes à sub5, sendo que mesmo tendo sua face voltada para incidência de ondas de sudeste, as ondas devem ter a maior parte de sua energia dissipadas na quebra no banco de areia. Além disso, o início da zona apresenta um pequeno pontal avançado, gerando uma zona de proteção das correntes de vazante.

Na parte final da Prainha, a zona sub7 não compartilha dos efeitos de proteção de correntes como a sub6, apresentando efeitos erosivos, principalmente devido à desembocadura do rio Prainha. Entretanto, é protegida da ação de ondas.

9.5 EFEITOS DE REFRAÇÃO

Para cada subdivisão, foram avaliados os efeitos de refração, considerando os ângulos de incidência da onda frente às curvas de nível batimétricas até a face praial. Foram consideradas três profundidades para cada direção de incidência, iniciando na cota 0 m (Nível Médio do Mar), e posteriormente, nas cotas 2 m e 4 m.

Visto que a direção de incidência da onda apresenta uma variação angular, foi considerado que o ângulo de incidência da onda é equivalente ao valor com o menor efeito de refração, podendo ser variável de acordo com a subdivisão. A avaliação incluiu as ondulações incidentes de leste e sudeste. Foram avaliados que os efeitos de refração relevantes ocorrem nas zonas sub1, sub2 e sub4. A TABELA 14 resume os valores obtidos para direção sudeste nas subdivisões relevantes. O ANEXO 7 – COEFICIENTE DE REFRAÇÃO DA ONDA apresenta mais detalhes sobre o cálculo.

TABELA 14 – COEFICIENTES DE REFRAÇÃO PARA ONDULAÇÃO DE SUDESTE.

Subdivisão	sub1	sub2	sub4
Kr Cota 0 m	0,76	0,96	0,96
Kr Cota 2 m	0,78	0,96	0,96
Kr Cota 4 m	0,87	1,00	1,00

9.6 EFEITOS DE DIFRAÇÃO

Avaliando possíveis pontos passíveis de difração, observa-se que a ponta do Morro do Cristo se apresenta como um obstáculo para algumas ondulações incidentes, principalmente na direção sudeste. O ponto mais adiantado do obstáculo está próximo à curva de nível de 3 m da batimetria, sendo que, para cotas inferiores, os efeitos de difração não devem ser computados. O ponto de origem está localizado na coordenada UTM 744.295,87 m E, 7.134.392,52 m S, sendo que a incidência da ondulação de sudeste é aproximadamente de 90°.

Semelhante ao efeito de refração, o efeito de difração altera a altura de onda incidente para a região de sombreamento, podendo ser calculada a partir de um coeficiente de difração (Kd). O valor de Kd pode ser estimado em função da relação da direção e do comprimento da onda, juntamente com a posição do ponto de interesse dentro da área

sombreada (protegida) pelo obstáculo. Tendo como base os ábacos de difração apresentados em USACE (2012), foram determinados os coeficientes de difração para a subdivisão sub1. A TABELA 15 resume os resultados obtidos.

TABELA 15 – PARÂMETROS DE DIFRAÇÃO PARA A ZONA SUB1 PARA ONDULAÇÃO DE SUDESTE.

Sub1 / **Parâmetros**	**Sudeste**
Cota Leito (NM)	0
Leito+Maré	2
L0 (m)	113,11
L (m)	37,38
Ângulo (°)	33
Raio (m)	373
Relação Raio/L	10,0
Kd	0,08

9.7 EFEITOS DE EMPOLAMENTO

O empolamento (*shoaling*) da onda ocorre após a saída da onda da condição de águas profundas até o ponto de quebra da onda. Durante esse deslocamento, a altura e comprimento da onda se alteram em função da profundidade. O efeito pode ser representado pelo coeficiente de empolamento (Ks), sendo importante sua avaliação no caso de obras que aconteçam antes do ponto de quebra.

Foram avaliados os coeficientes de empolamento até as profundidades de quebra para a região da Praia Central de Guaratuba, envolvendo as zonas sub2 e sub3. Para as demais subdivisões considerou-se que a quebra da onda ocorre longe da linha de costa. A TABELA 16 resume os valores calculados, considerando diferentes profundidades.

TABELA 16 – COEFICIENTES DE EMPOLAMENTO PARA ONDULAÇÃO DE SUDESTE.

Subdivisão	**Sub2**	**Sub3**
Ks Profundidade 5,5 m	1,06	1,06
Ks Profundidade 6,0 m	1,04	1,04
Ks Profundidade 6,5 m	1,02	1,02

9.8 QUEBRA DA ONDA

A avaliação da quebra de onda busca determinar o ponto de quebra e suas características, sendo correlacionadas em função da profundidade, da declividade do fundo, da altura e do período da onda. A definição do ponto é importante para obras costeiras em zonas mais rasas, na qual os efeitos de transformação das ondas não são mais válidos.

Em águas rasas, a altura de quebra da onda (H_b) é limitada por uma inclinação máxima da onda para a qual a forma de onda pode permanecer estável. Após ultrapassar a inclinação limitante, a onda começa a quebrar e dissipar parte de sua energia.

Para elaboração de obras em pontos mais rasos que o ponto de quebra, deve-se determinar a correlação da altura da onda de quebra (H_b) com a profundidade de quebra (d_b), sendo denominado como índice de quebra (γ_b), conforme a equação (10).

$$\boldsymbol{\gamma_b = \frac{H_b}{d_b}} \tag{10}$$

Em leitos com baixa declividade, o índice de quebra pode ser considerado um valor fixo, como apresentado em Munk (1949) de 0,78. Entretanto, existem outras metodologias que consideram as características da onda na condição de águas profundas e a declividade do leito para determinação do índice de quebra. Também existem variações em função da consideração de ondas regulares e irregulares.

O estudo avaliou algumas metodologias, sendo considerada para o local a equação apresentada por Kamphuis (1991) para ondas irregulares, sendo o índice "*b"* para quebra (*break*) da onda, conforme identificado na equação (11).

$$\boldsymbol{H_b = 0,095\, L_b\, e^{4m}\, \tanh\left(\frac{2\pi\,(d_b + 0,1\, H_{s,0})}{L_b}\right)} \tag{11}$$

A declividade do leito utilizada foi de 1% e a ondulação de sudeste para TR100 anos. O ponto de quebra da onda foi na profundidade 5,38 m, tendo uma altura de onda de 5,35 m. Posteriormente, foi realizada a análise para outras profundidades, inferiores à profundidade de quebra. A TABELA 17 apresenta o resumo dos resultados, sendo detalhado no ANEXO 9 – ÍNDICE DE QUEBRA DA ONDA.

TABELA 17 – ALTURA DE QUEBRA DE ONDA (HB) PARA ONDULAÇÃO DE SUDESTE PARA DIFERENTES PROFUNDIDADES NA LINHA DE COSTA DE GUARATUBA.

Subdivisão	Hb (m)
Profundidade 5,0 m	5,02
Profundidade 4,5 m	4,58
Profundidade 4,0 m	4,14
Profundidade 3,5 m	3,69
Profundidade 3,0 m	3,23

9.9 RESUMO DA ONDA DE PROJETO (HD) PARA AS ESTRUTURAS PROPOSTAS

A onda de projeto depende da posição da estrutura que está sendo dimensionada, variando de acordo com a subdivisão da linha de costa e sua profundidade. Para as subdivisões que sofrem uma ação direta das ondas, a caracterização da ondulação de sudeste foi utilizada para o cálculo. As características da onda de sudeste, em condições de águas profundas, compreendem uma altura de onda significativa (Hs,0) de 3,02 m e a altura de onda máxima (Hmax,0) de 5,05 m, com um período de onda (Tp) de 9,11 s.

Uma vez que as estruturas previstas estão localizadas em águas rasas, a onda de projeto (Hd) para cada estrutura foi definida como a altura de quebra de onda, conforme a profundidade existente nos taludes, considerando a ocorrência de uma maré extrema, sendo equivalente a 2,5 m acima do nível médio do mar local. Os taludes das estruturas, nas subdivisões 1, 2, 3 e 4 foram inseridos numa profundidade equivalente a 4,5 m. Para as estruturas localizadas nas subzonas protegidas pela ação das ondas (sub 5, 6 e 7) foi adotada uma onda de projeto conforme recomendação da USACE (1986), onde a altura de onda mínima para qualquer profundidade deve ser superior a um terço do valor da altura da onda de projeto em águas profundas. O valor da altura de onda de projeto adotado para as estruturas nessas zonas foi de 2,0 m. A TABELA 18 resume o valor da altura de onda de projeto para diferentes profundidades.

TABELA 18 – ALTURA DE ONDA PARA AS ESTRUTURAS PROPOSTAS.

Estrutura	Subdivisão	Profundidade (m)	Altura de onda de Projeto (Hd) (m)
Guia de corrente – Praia central	1	4,50	4,58
Espigão – Praia central	3	4,50	4,58
Espigão Sul – Caieiras	4	4,50	4,58
Espigão Norte – Caieiras	5	-	2,0
Espigão Oeste – Prainha	6	-	2,0
Guia de corrente – Prainha	7	-	2,0
Canal – Prainha	7	-	2,0

10 ANTEPROJETO DAS OBRAS MARÍTIMAS

As obras marítimas propostas para as três praias de Guaratuba consistem em obras de engordamento artificial (ampliação da faixa de areia) e estruturas semirrígidas para fixação da areia através da redução da energia e influência das ondas e correntes, tais como espigões, *headlands e* guias-correntes.

Na Orla da Praia Central, foram propostas duas estruturas marítimas em diferentes pontos: um *headland* no ponto mais ao norte (com cerca de 220 m de extensão) e um par de guias-correntes ao sul (a estrutura norte com cerca de 210 m de extensão e a estrutura a sul com cerca de 300 m em formato curvo na extremidade), na saída de drenagem onde deságua o rio Brejatuba, formando um canal com aproximadamente 70 metros de largura para lançamento e diluição da drenagem pluvial e fluvial. A faixa de areia proposta para o engordamento é de 100 metros, iniciando na cota de 3,5 metros (elevação em relação ao nível médio dos mares) e prologando-se em direção ao mar com declividade de 1:100. Após atingir a distância de 100 m, com cota de 2,5 metros, o talude continua com declividade de 1:20 até encontrar o leito marinho.

Na Praia de Caieiras, foram propostas duas estruturas marítimas: um espigão curto no ponto mais ao norte (com cerca de 80 m de extensão), buscando-se uma maior proteção da faixa de areia e evitar profundidades superiores a quatro metros; e um espigão próximo ao meio da praia (em frente ao antigo CPPOM – Centro de Produção e Propagação de Organismos Marinhos) (com cerca de 180 m de extensão), visando proteger a orla de processos erosivos. Nesta orla, a faixa de areia proposta é dividida em dois trechos. No trecho norte, o engordamento é de 50 metros, iniciando na cota de 3,0 metros e prolongando-se com declividade 1:50 até a cota de 2,0 metros, onde começa um talude com declividade de 1:10 até encontrar o leito marinho. No trecho sul, o engordamento é de 80 metros, iniciando na cota de 2,5 metros e prolongando-se com declividade 1:50 até a cota de 0,9 metros, onde começa um talude com declividade de 1:20 até encontrar o leito marinho.

Por último, na Orla da Prainha são propostas três estruturas marítimas: um *headland* no ponto mais a oeste (com cerca de 75 m de extensão), próximo à cabeceira da nova ponte, visando auxiliar na fixação da areia e evitando ocupar profundidades superiores a cinco metros; um par de guias-correntes no centro da praia, para combater efeitos erosivos e também auxiliar na drenagem pluvial e fluvial, formado por um espigão no ponto central (com cerca de 170 m de comprimento), complementado por um anteparo de geobag

com proteção de enrocamento a oeste (com cerca de 160 m de extensão), sendo ambas as estruturas distanciadas entre si por aproximadamente 10 m; e um espigão curvo (com cerca de 120 m de extensão) no ponto mais a leste da praia, onde atualmente deságua um córrego. A faixa de areia proposta é dividida em dois trechos. No trecho a oeste, a faixa de engordamento é variável de 20 a 100 metros ao longo da orla, iniciando na cota de 2,5 metros e prolongando-se com declividade variável até a cota de 1,0 metro, onde começa um talude com declividade de 1:5 até encontrar o leito marinho. No trecho a leste, a faixa de engordamento é variável de 50 a 100 metros, iniciando na cota de 3,0 metros e prolongando-se com declividade variável até a cota de 1,0 metro, onde começa um talude com declividade de 1:20 até encontrar o leito marinho.

As obras marítimas propostas para a Praia Central, Caieiras e Prainha são ilustradas nas FIGURA 92 até FIGURA 95. Vale mencionar que as alternativas de locação das estruturas marítimas foram compatibilizadas com a localização das estacas da Ponte de Guaratuba.

FIGURA 92 – ESTRUTURAS MARÍTIMAS PROPOSTAS PARA A PRAIA CENTRAL.



FIGURA 93 – ESTRUTURAS MARÍTIMAS PROPOSTAS PARA A PRAIA DE CAIEIRAS.



FIGURA 94 – ESTRUTURAS MARÍTIMAS PROPOSTAS PARA A PRAINHA.



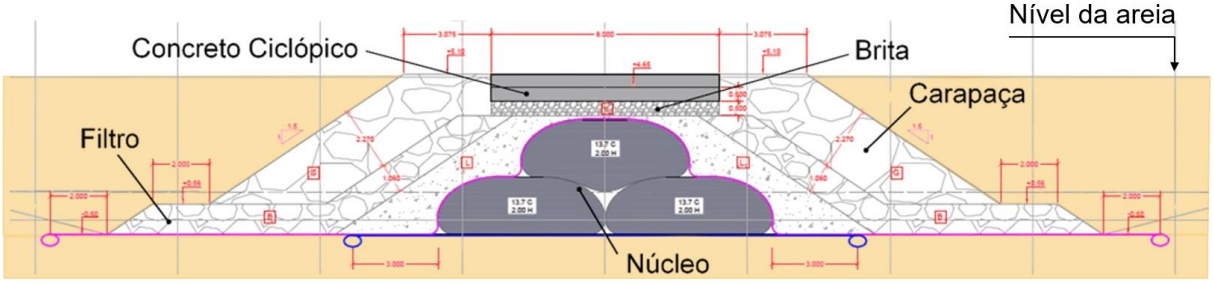
FIGURA 95 – LOCAÇÃO DOS PILARES DA PONTE DE GUARATUBA.



10.1 ESTRUTURAS SEMIRRÍGIDAS

O projeto das estruturas semirrígidas envolveu o cálculo da altura, a escolha dos materiais e o dimensionamento do peso dos blocos e das dimensões das camadas, sendo considerada a análise de estabilidade das estruturas. Ressalta-se que a estrutura projetada apresenta, em geral, as seguintes camadas de revestimento: o núcleo com partes de Geotubo têxtil de alta densidade e rochas, além de filtro, brita, carapaça e concreto ciclópico (FIGURA 96).

FIGURA 96 – ESQUEMA GERAL DA SEÇÃO TRANSVERSAL DAS ESTRUTURAS SEMIRRÍGIDAS.



10.1.1 Dimensionamento do Peso de Blocos

Quebra-mares, molhes, guias-correntes e *headlands* são estruturas utilizadas para proteger linhas de costa oceânicas, estuarinas ou lacustres do ataque das ondas, além de fixar embocaduras. Essas estruturas estão submetidas ao ataque de ondas em seu corpo poroso. Dentre vários tipos de materiais, os mais utilizados são os blocos de rocha, por serem abundantes na natureza, de menor custo e por terem um método construtivo menos complexo. Outros materiais utilizados são blocos artificiais de concreto (cubos, tetrápodes, dolos, entre outros), gabiões, bolsacreto, Geotubo têxtil de alta densidade, etc.

A escolha do material a ser empregado leva em consideração o peso do bloco calculado, a proximidade de pedreiras, a viabilidade de obtenção e transporte de blocos acima de determinado peso, dimensões adequadas da estrutura de abrigo e metodologia construtiva. O dimensionamento das espessuras das camadas é feito levando-se em consideração a dimensão dos blocos.

10.1.1.1 Dimensionamento dos Blocos da Carapaça

O cálculo do peso dos blocos de pedra da carapaça é obtido segundo a formulação do *Shore Protection Manual* – SPM (CERC, 1984) e CEM (2006), descrita a seguir:

$$W = \frac{\gamma_r H_s^3}{K_D \left(\frac{\rho_r}{\rho_a} - 1 \right)^3 \operatorname{cotg} \alpha} \qquad (12)$$

Onde:

- W: peso do bloco na armadura principal ou carapaça (em kgf);
- H_s: altura da onda de projeto (m);
- γ: peso específico do bloco rocha (2.650 kgf/m³);
- ρ_r: massa específica do bloco rocha (2.650 kg/m³);
- ρ_a: massa específica da água do mar (1.025 kg/m³);
- K_D: coeficiente de intertravamento;
- cotg α: o talude da estrutura (1:1,5 m/m);
- Considera-se ainda uma variação do peso dos blocos de: $W_{máx}$ =1,25 W e $W_{mín}$ = 0,75 W.

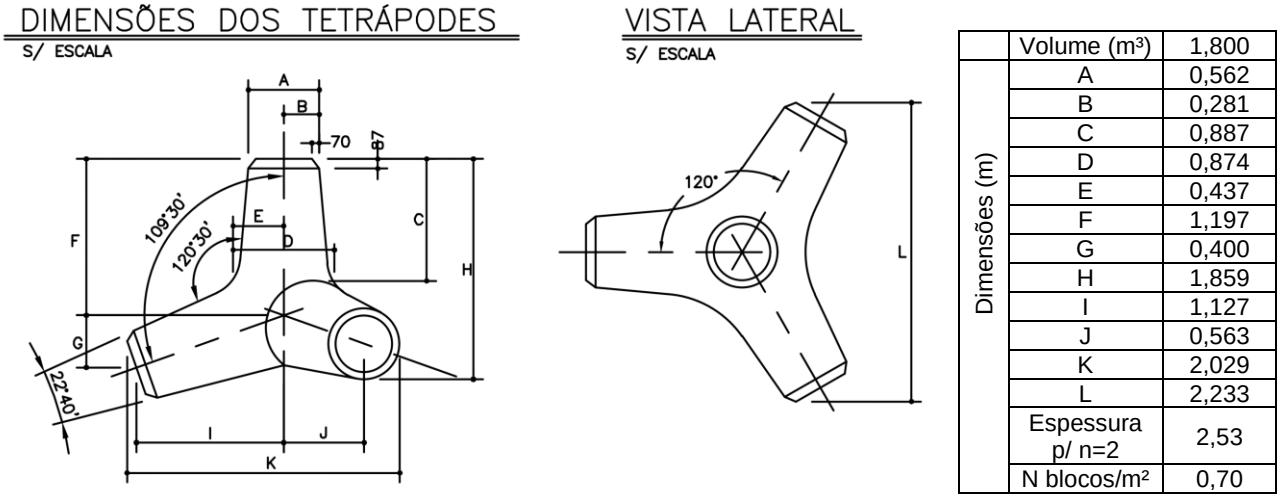
A carapaça da estrutura semirrígida será composta por enrocamento, complementada por blocos de concreto do tipo tetrápode na extremidade (com exceção

das estruturas marítimas propostas para a Prainha, onde serão utilizados somente enrocamentos).

Em alguns locais, devido ao elevado peso dos blocos de rochas calculados pela equação (12), foi considerada uma alternativa para substituí-los por blocos de concreto do tipo tetrápode para a carapaça. Estes blocos deverão ter volume de 1,8 m³, porém a densidade do concreto pode ser diferente para cada estrutura. No guia-correntes Leste da Praia Central, o concreto a ser utilizado deve ter densidade de 2,5. Já no guia-correntes Oeste da mesma praia o concreto deve ter densidade de 2,3. No *Headland* da Praia Central, o concreto a ser utilizado deve ter densidade de 2,5 no cabeço e de 2,39 no tronco. Nos dois espigões da Praia de Caieiras, o concreto deve ter densidade de 2,3. A carapaça deverá ter duas camadas de tetrápodes.

O tetrápode é um bloco de concreto não armado que como o nome expressa, tem quatro pés (ou “pernas”), como mostrado na FIGURA 97 e FIGURA 98. Estas “pernas” se intertravam entre blocos vizinhos, aumentando o coeficiente de intertravamento (K_D) e, consequentemente, diminuindo o peso do bloco. Assim, caso uma “perna” de um tetrápode venha a ser rompida, esta peça avariada deverá ser substituída imediatamente. Caso isto não ocorra, corre-se o risco de grandes danos na estrutura como um todo. Deve-se ressaltar que a probabilidade de quebra de uma “perna” é bastante reduzida.

FIGURA 97 – CROQUI ESQUEMÁTICO DO MODELO DO TETRÁPODE.



	Volume (m³)	1,800
Dimensões (m)	A	0,562
	B	0,281
	C	0,887
	D	0,874
	E	0,437
	F	1,197
	G	0,400
	H	1,859
	I	1,127
	J	0,563
	K	2,029
	L	2,233
	Espessura p/ n=2	2,53
	N blocos/m²	0,70

FIGURA 98 – EXEMPLO DE TETRÁPODES, UTILIZADOS NAS OBRAS DE ENGORDAMENTO DE MATINHOS-PR.



FONTE: IAT, 2022.

10.1.1.2 Filtro e Núcleo

O peso dos blocos de rochas utilizados nas camadas de filtros foi calculado como sendo 10% do peso dos blocos da camada correspondente da carapaça, ou seja, se em uma seção os blocos de rochas da carapaça tiverem um peso de 1,0 t, o filtro correspondente deverá ter blocos de rocha com peso de 0,1 t, sempre considerando a variação do peso apresentada acima. Da mesma forma que na carapaça, a espessura da camada de filtro deverá, nas seções mais distantes da praia, ser capaz de conter dois blocos de rochas. Já nas seções iniciais esta espessura poderá ser correspondente a um bloco apenas.

Os núcleos das estruturas serão compostos de unidades de Geotubo têxtil de alta densidade, que serão apresentadas mais detalhadamente no item 10.1.3.

10.1.2 Verificação de Galgamento

A verificação da ocorrência do galgamento foi calculada a partir da taxa média de galgamento, que de acordo com a formulação presente nos critérios de galgamento em Eurotop (2007) é descrita pela seguinte expressão:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0{,}2\exp\left(-2{,}3\frac{R_c}{H_{m0}y_f y_\beta}\right) \quad (13)$$

Onde:

- q: taxa média de galgamento (m³/s/m);
- H_{m0}: altura significativa de onda (m);

- R_c: borda livre medida a partir do nível médio do mar (m) = Coroamento – $NA_{máx}$;
- y_f: parâmetro de rugosidade = 0,38 para Tetrápode;
- y_β: parâmetro de obliquidade da onda = 1 (assumido ataque de ondas normal ao molhe);
- g: aceleração da gravidade = 9,81 m/s².

Considerando a cota de coroamento de cada estrutura separadamente, obtém-se uma taxa média de galgamento para as mesmas, dispostas na TABELA 19. na realidade, essa taxa ainda é reduzida devido à existência da largura do topo do enrocamento, que seguindo formulação proposta por Besley (1999), varia para cada estrutura de 1% a 9% do valor calculado. estes valores são compatíveis com a utilização dos enrocamentos, considerando os valores admissíveis segundo Eurotop (2007), indicados no QUADRO 7.

A formulação da redução é descrita a seguir, onde C_r é o fator redutor e G_c é a largura da crista ou berma.

$$C_r = 3{,}06\exp\left(\frac{-1{,}5G_c}{H_{m0}}\right) \quad (14)$$

Os resultados mostraram que poderá ocorrer galgamento em algumas estruturas. Assim, recomenda-se que seja estabelecido um protocolo de utilização das áreas. Isto é, que o acesso seja proibido em situações de ressacas mais fortes.

TABELA 19 – TAXA MÉDIA DE GALGAMENTO POR ESTRUTURA.

Parâmetro	Estrutura							
	Guias Correntes Praia Central		*Headland* Praia Central Norte	Espigão Caieiras Centro	Espigão Caieiras Norte	Guia-correntes Leste Prainha	Guias-correntes Centro Prainha	*Headland* Prainha Oeste
	Sul	Norte						
NA_{max} IBGE (m)	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
H_{m0} (m)	3,4	3,0	3,4	3,0	2,5	1,3	2,1	2,6
Cota de Coroamento (m)	4,50	4,00	4,50	4,50	3,00	3,00	3,00	3,00
R_c (m)	2,80	2,30	2,80	2,80	1,30	1,30	1,30	1,30
q (l/s/m)	28,97	29,65	28,97	11,46	106,39	2,65	46,54	127,35
Cr	0,04	0,02	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
q (l/s/m) Reduzido	1,13	0,58	1,13	0,24	0,81	0,00	0,12	1,22

QUADRO 7 – CLASSIFICAÇÃO DOS GALGAMENTOS.

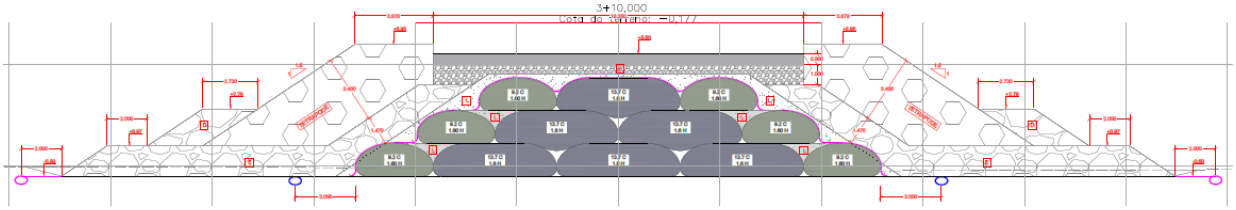
Taxa de Galgamento (l/s/m)	Classificação
<0,1	Insignificante em relação ao resguardo de crista e talude interno da estrutura.
1	Crista e taludes internos podem começar a erodir se não protegidos (compostos de argila ou grama).
10	Ocorre algum galgamento para estruturas em enrocamento, porém muito menos significativo que para diques e aterros.
100	Há transmissão de ondas em enrocamentos.

10.1.3 Geotubo Têxtil de Alta Densidade

O núcleo das estruturas semirrígidas será preenchido utilizando a tecnologia Geotubo têxtil de alta densidade (também denominada tubo geotêxtil). Foi proposta a utilização de unidades de geotubos empilhadas em forma de pirâmide (FIGURA 99), tendo como cota de base o fundo do mar e cota de topo variando de acordo com a altura da estrutura indicada em projeto. A altura total de cada seção, portanto, varia de acordo com as profundidades locais.

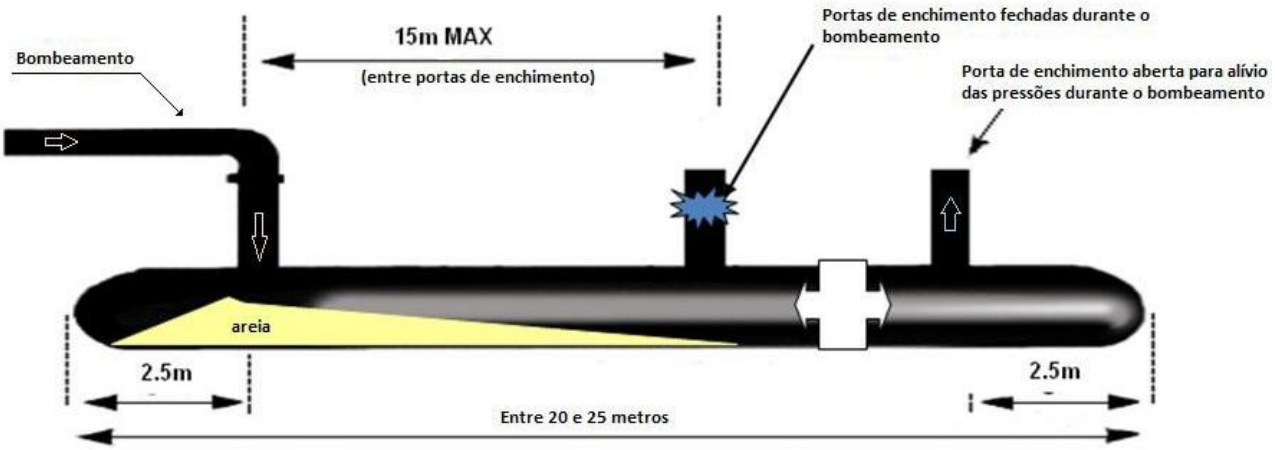
As unidades de geotubos são grandes sacos de geotêxtil tecido de polipropileno de alta resistência, fabricado especificamente para esta aplicação, costurados sob cuidados fundamentais para seu perfeito funcionamento e que são preenchidos através de portas de enchimento rígidas ou flexíveis, cuidadosamente desenvolvidas para esta aplicação e espaçadas conforme o comprimento da unidade.

FIGURA 99 – SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA DA SOLUÇÃO.



Os geotubos serão preenchidos com água e areia através de bombeamento. Como o geotêxtil tecido é um material poroso, a água passa pelos poros rapidamente, permanecendo apenas a parte sólida no interior do geotubo. Isto permite a formação de um elemento monolítico e rígido. A FIGURA 100 mostra uma visão geral longitudinal das dimensões básicas do Geotubo têxtil de alta densidade.

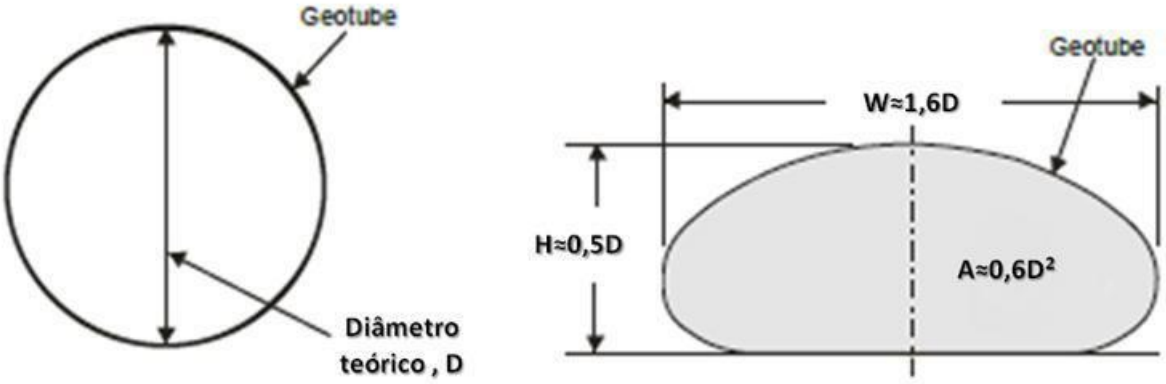
FIGURA 100 – DIMENSÕES BÁSICAS DE UMA UNIDADE GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE PARA APLICAÇÃO MARINHA.



O dimensionamento do Geotubo têxtil de alta densidade em aplicações marinhas considera principalmente as propriedades geométricas, geotécnicas, mecânicas e hidráulicas.

A forma do tubo é função das pressões internas e externas, velocidade de enchimento, natureza do material de enchimento e seu adensamento. Para o caso das areias que possuem “adensamento rápido”, a tendência é se depositarem brevemente na base e formar elementos mais arredondados no topo. Um Geotubo têxtil de alta densidade preenchido com material fino, com baixos ângulos de atrito interno e coesão inicial, com adensamento lento, tenderá a assumir uma forma mais achatada no topo. É importante lembrar que a deformabilidade do geossintético também interfere na forma da seção transversal. A função que gera esta forma é regida por uma rotina matemática de relativa complexidade, entretanto, é possível simplificar os resultados conforme mostrado na FIGURA 101.

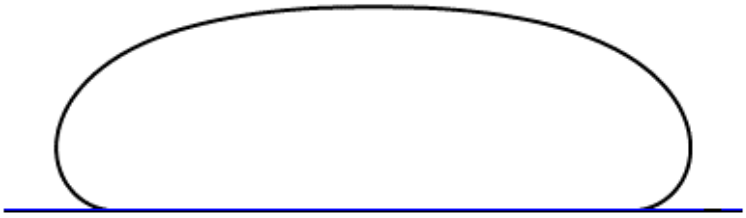
FIGURA 101 – DIMENSÕES TEÓRICAS DO GEOTUBO.



Assim, é possível criar *in loco* elementos com volume maior do que 200 m³ e massa com aproximadamente 400 ton. Esta massa é suficiente para atender ao projeto de controle de erosão da praia. A FIGURA 102 mostra as dimensões calculadas pelo *software* Simulator, especificamente para um Geotubo têxtil de alta densidade com 13,7 m de circunferência e 2 m de altura. Para este projeto foram especificadas unidades de 25 m de comprimento.

FIGURA 102 – DADOS DE SAÍDA DO SOFTWARE EM QUE É CALCULADA A GEOMETRIA DO GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE, AS TENSÕES ÀS QUAIS ESTÁ SUBMETIDA E OS FATORES DE SEGURANÇA.

Cross Section



5/24/13	Project:	projeto Matinhos – PR

Units:	Metric		Circumferential Tensile Force (T) =	17,72	kN/m
Water Level:	Fully Emerged		Geotube® Base Contact Width (B) =	4,78	m
			Geotube® Filled Width (W) =	5,86	m
Geotube® Height (H) =	2	m	Geotube® Cross Section Area (A) =	10,10	sq m
Geotube® Circumference (C) =	13,7	m	Geotube® Volume Per Unit of Length (V) =	10,10	cu m/m
Specific Gravity of Fill Material (SGint) =	1,6	sg	FS of Circumferential Failure =	5,0	FS
Geotube® Fabric Type:	GT500		Axial Direction FS (AFS) =	5,0	FS
Geotube® Fabric Type:	Rigid Mechanical		FS of Fill Port Failure =	4,5	FS

As unidades de Geotubo têxtil de alta densidade serão preenchidas com areia, que é o material ideal em termos geotécnicos, pois quando confinada alcança alta capacidade de suporte, o que permite que o Geotubo se torne um elemento estrutural, podendo ser empilhada e/ou alinhada. Uma vez instalado, o Geotubo permanece intacto e resistente a ondas e correntes conforme dimensionamento quanto aos parâmetros do projeto.

Em comparação à solução em pedra, a estrutura em Geotubo têxtil de alta densidade é mais leve, por conseguinte, representa uma sobrecarga menor. Outro ponto importante é que se trabalha com elementos maiores, que são preenchidos gradativamente por bombeamento, carregando o terreno de fundação de maneira melhor distribuída.

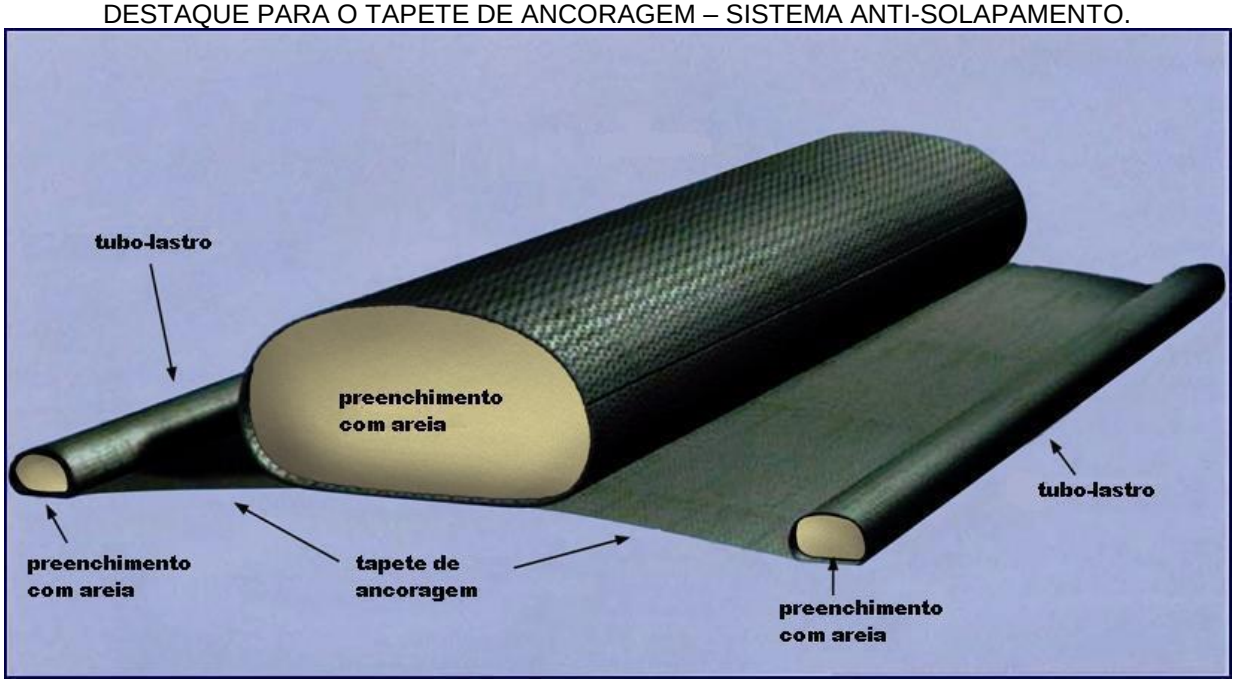
Estruturas submersas acabam tendo seu peso minorado pelo efeito do empuxo, entretanto, de maneira conservadora, o Geotubo têxtil de alta densidade foi considerada emersa e mesmo assim o menor Fator de Segurança é 4,5. A FIGURA 103 mostra um empilhamento com 11 camadas de unidades de Geotubo têxtil de alta densidade em terra firme, o que é possível mesmo sem o alívio das tensões pelo empuxo.

A fim de evitar solapamento das unidades Geotubo têxtil de alta densidade durante o período de construção do núcleo, serão instalados tapetes de ancoragem (FIGURA 104).

FIGURA 103 – PROCESSO DE DESAGUAMENTO DE SEDIMENTOS CONTAMINADOS EM QUE O EMPILHAMENTO FINAL RESULTOU EM 11 CAMADAS DE UNIDADES GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE (FOTO TIRADA EM ASHTABULA, OHIO, EUA).



FIGURA 104 – ELEMENTOS GERAIS DA TECNOLOGIA GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE COM DESTAQUE PARA O TAPETE DE ANCORAGEM – SISTEMA ANTI-SOLAPAMENTO.

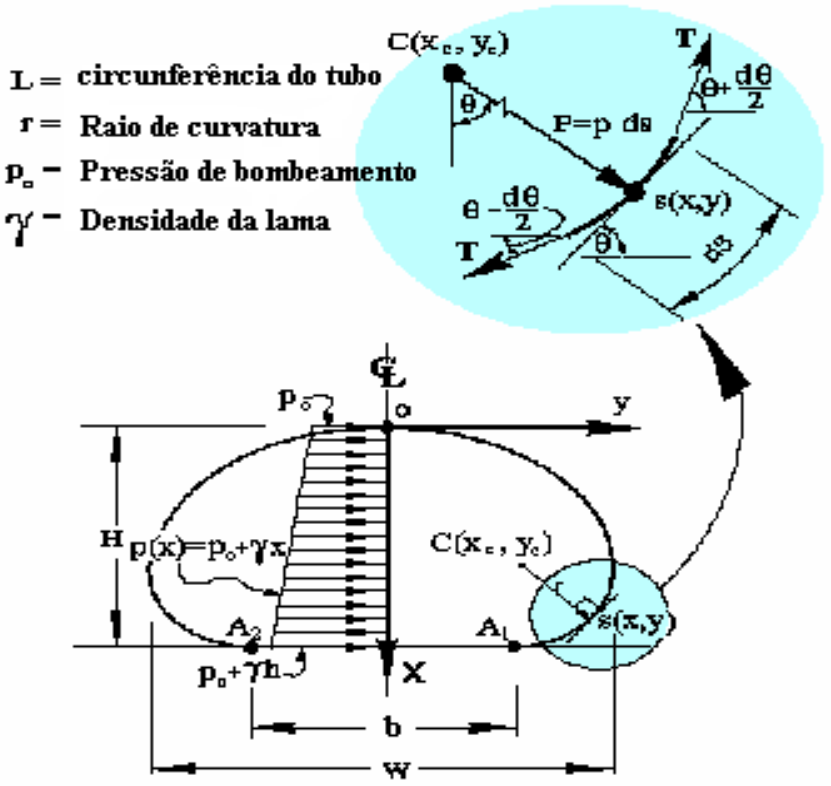


O Geotubo têxtil de alta densidade é constituído por geotêxtil tecido de alta resistência de polipropileno, especialmente fabricado para esta aplicação, a fim de atender às solicitações mecânicas, que atingem o seu valor máximo durante o bombeamento. À medida que a água drena pelos poros do geotêxtil, as tensões são aliviadas e a areia confinada passa a servir de suporte para as unidades de geotubos que serão sobrepostas. Com uma resistência longitudinal e transversal de 200,0 kN/m é possível garantir Fatores de Segurança acima de 4,5.

A tração axial é aferida por cálculo diferencial utilizando as notações apresentadas na FIGURA 105. O *software* Simulator tem como dado de saída este valor que é comparado com as características do geotêxtil empregado, o qual é avaliado se possui resistência adequada, garantindo sempre fator de segurança FS ≥ 3,0.

Assim como o geotêxtil utilizado deve ser resistente aos esforços submetidos, também deve ser capaz de reter os grãos de areia no seu interior, permitindo a passagem da água que compõe a emulsão bombeada. Portanto, as propriedades hidráulicas também são alvo de análise quanto ao material que será bombeado para o Geotubo têxtil de alta densidade. O QUADRO 8 mostra a especificação do geotêxtil tecido, com suas propriedades mecânicas e hidráulicas.

FIGURA 105 – ILUSTRAÇÃO GRÁFICA E MATEMÁTICA PARA CÁLCULO DO ESFORÇO DE TRAÇÃO NO GEOTÊXTIL TECIDO CONSTITUINTE DO GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE.



QUADRO 8 – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO GEOTÊXTIL TECIDO.

Propriedades	Norma	Unidade	Valor
Cor			Sandcolor
Resistência à tração nominal - Longitudinal	NBR ISO 10319	kN/m	200
Resistência à tração nominal - Transversal	NBR ISO 10319	kN/m	200
Deformação na resistência nominal - Longitudinal	NBR ISO 10319	%	≤ 20
Deformação na resistência nominal - Transversal	NBR ISO 10319	%	≤ 10
Velocidade de fluxo característica	NBR ISO 11058	m/s	$15x10^{-3}$
Abertura de filtração característica	NBR ISO 12956	mm	0,3
Resistência residual após 4300h de exposição	DIN EN 12224	kN/m	> 160
Módulo - Perímetro da seção transversal máxima (**)		m	20
Módulo - Comprimento máximo (**)		m	40
Bocais de preenchimento - Quantidade/m		m (min 2)	1 / 10
Bocais de preenchimento - Diâmetro		m	0,3
Bocais de preenchimento - Espaçamento		m	10
Alças de ancoragem - Quantidade/m		m (min 4)	2 / 5
Alças de ancoragem - Espaçamento		m	5,0
Costuras - Circunferenciais			Sobreposta
Costuras - Extremidades e Longitudinal			Tipo J

FONTE: HUESKER, 2025.

10.1.4 Especificações e Quantitativos de Materiais

Após o dimensionamento das estruturas semirrígidas, foi realizada a estimativa dos quantitativos de materiais, incluindo os volumes de enrocamentos, concreto ciclópico, tetrápodes e areia para preenchimento dos geotubos (TABELA 21). O volume total de enrocamentos é de 67.983 m³ de material pétreo. O volume de concreto ciclópico estimado é de 4.815 m³. Já o volume aparente de blocos de tetrápodes é de 15.563 m³.

Os volumes de escavação para o assentamento de cada estrutura são indicados na TABELA 20. O volume total calculado é de 92.479 m³.

O concreto a ser produzido para a fabricação dos tetrápodes deverá ser do tipo simples C40 com resistência mínima a compressão fck de 40 MPa, além de seguir todas as exigências e recomendações das normas ABNT.

As características das pedras previstas para os enrocamentos são apresentadas no QUADRO 9, detalhando o seu peso mínimo e máximo, bem como o peso que metade das pedras utilizadas deverá exceder. As características dos tetrápodes são indicadas no QUADRO 10 e suas dimensões constam na FIGURA 97.

Para os geossintéticos foram propostos geotubos com comprimento de 25 m e perímetro variando entre 8,5 m e 14,5 m. Foram recomendados tapetes anti-socavação em módulos de 25 m x 25 m. O quantitativo estimado de geotubos consta na TABELA 22.

TABELA 20 – VOLUMES DE ESCAVAÇÃO.

]	Volume escavação (m³)	Volume com empolamento de 12% (m³)
Guia-Correntes Praia Central - Sul	16.543	18.528
Guia-Correntes Praia Central - Norte	10.422	11.672
Canal entre Guia-Correntes Praia Central	26.828	30.047
***Headland* Praia Central**	3.891	4.358
Espigão Centro Caieiras	5.294	5.929
Espigão Norte Caieiras	5.710	6.395
Guia-Correntes Leste Prainha	4.492	5.031
Guia-Correntes Centro Prainha - molhe Leste	3.581	4.011
Guia-Correntes Centro Prainha - molhe Oeste	4.198	4.702
***Headland* Prainha Oeste**	1.612	1.805
TOTAL	**82.571**	**92.479**

TABELA 21 – QUANTITATIVO DE MATERIAIS PARA AS ESTRUTURAS MARÍTIMAS – VOLUMES EM M³.

Material		$W_{50\%}$ (t)	Guia-Correntes Rio Brejatuba - Sul	Guia-Correntes Rio Brejatuba - Norte	*Headland* Praia Central	Espigão Centro Caieiras	Espigão Norte Caieiras	Guia-Correntes Leste Prainha	Guia-Correntes Centro Prainha - molhe Leste	Guia-Correntes Centro Prainha - molhe Oeste	*Headland* Prainha Oeste	TOTAL (m³)
Tipos de Pedras	A	Brita 2	641	410	2.172	393	106	235	370	323	165	4.815
	B	tout venant										
	C	0,05	785	785								1.570
	D	0,1		1.043								1.043
	E	0,13	2.286									2.286
	F	0,2			1.216	1.368	830	807	807	1.008		6.036
	G	0,4	3.076		1.673						2.542	7.291
	H	0,45	3.743	1.254	8.041	4.984	1.025	441	862	789		21.139
	I	0,5	2.057	2.068		523	19					4.667
	J	1		1.339								1.339
	K	1,1										
	L	1,24		778								778
	M	1,3	3.067									3.067
	N	2	988	833	2.419	1.792	1.208					7.240
	O	2,2							900			900
	P	4			1.561						2.547	4.108
	Q	4,5				1.704						1.704
Subtotal 1 (pedras)			**16.643**	**8.510**	**17.082**	**10.764**	**3.188**	**1.483**	**2.939**	**2.120**	**5.254**	**67.983**
Tetrápode 1		4,5	2.437		2.756							5.193
Tetrápode 2		4,3			2.882							2.882
Tetrápode 3		4,1	1.411	2.175		3.021	881					7.488
Subtotal 2 (tetrápodes)			**3.848**	**2.175**	**5.638**	**3.021**	**881**					**15.563**
Conc. Ciclópico			641	410	2.172	393	106	235	370	323	165	4.815
Geotubos (areia)			12.444	5.989	27.420	8.516	3.206	2.407	3.932	3.410	2.400	69.724

QUADRO 9 – CARACTERÍSTICAS DOS ENROCAMENTOS.

Tipos de Pedras	$W_{50\%}$ (t)	Wmín (t)	Wmáx (t)
A	Brita 2	-	-
B	tout venant	0,005	0,2
C	0,05	0,04	0,06
D	0,1	0,08	0,13
E	0,13	0,1	0,16
F	0,2	0,15	0,25
G	0,4	0,30	0,50
H	0,45	0,34	0,60
I	0,5	0,4	0,6
J	1	0,8	1,30
K	1,1	0,86	1,44
L	1,24	0,93	1,56
M	1,3	1	1,60
N	2	1,5	2,50
O	2,2	1,6	2,70
P	4	3	5,00
Q	4,5	3,37	5,63

QUADRO 10 – CARACTERÍSTICAS DOS TETRÁPODES.

Tipos	W (t)	Densidade (t/m³)	Volume (m³)
Tetrápode 1	4,5	2,50	1,8
Tetrápode 2	4,3	2,39	1,8
Tetrápode 3	4,1	2,28	1,8

TABELA 22 – ESTIMATIVA DE GEOTUBOS TÊXTEIS.

Geotubos	Comprimento (m)	Perímetro (m)	Unidades
SOILTAIN PP 200/200 CP P85	25,0	8,5	360
SOILTAIN PP 200/200 CP P95	25,0	9,5	149
SOILTAIN PP 200/200 CP P100	25,0	10,0	1.950
SOILTAIN PP 200/200 CP P115	25,0	11,5	710
SOILTAIN PP 200/200 CP P120	25,0	12,0	47
SOILTAIN PP 200/200 CP P130	25,0	13,0	313
SOILTAIN PP 200/200 CP P135	25,0	13,5	352
SOILTAIN PP 200/200 CP P145	25,0	14,5	813
TOTAL			**4.694**

FONTE: HUESKER, 2025.

10.1.5 Detalhamento das Estruturas

10.1.5.1 Guias-Correntes da Praia Central

O par de guias-correntes da Praia Central é composto por dois espigões (um curvilíneo e um retilíneo). O guia-correntes sul parte perpendicularmente à praia, possui um trecho retilíneo de 200 m seguido por um trecho curvilíneo de 80 m com raio de 150 m, terminando com o cabeço de raio de 6,0 m; perfazendo uma extensão total de 286 m na crista. O guia-correntes norte possui apenas um trecho retilíneo de 180 m, terminando com o cabeço de raio de 4 m, perfazendo uma extensão total de 184 m na crista. Considerando as extensões até os pés dos enrocamentos, as extensões são de 306 m e 204 m para os molhes sul e norte, respectivamente. Além de contribuírem para a redução dos efeitos erosivos na Praia Central, estas estruturas também terão a função de auxiliar na drenagem da região e melhorar a qualidade da água.

Os eixos dos guias-correntes estão definidos pelos seus pontos notáveis, cujas coordenadas UTM estão apresentadas no QUADRO 11 e no QUADRO 12 para os guias-correntes norte e sul, respectivamente.

QUADRO 11 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO GUIA-CORRENTES NORTE DA PRAIA CENTRAL.

Estaca	Coordenada UTM (m)	
	Leste	Norte
0	743.708,8	7.134.459,9
1	743.725,0	7.134.471,6
2	743.741,3	7.134.483,3
3	743.757,5	7.134.495,0
4	743.773,8	7.134.506,7
5	743.790,0	7.134.518,3
6	743.806,2	7.134.530,0
7	743.822,5	7.134.541,7
8	743.838,7	7.134.553,4
8+16,54	743.852,1	7.134.563,0
9	743.854,9	7.134.565,0

QUADRO 12 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO GUIA-CORRENTES SUL DA PRAIA CENTRAL.

Estaca	Coordenada UTM (m)	
	Leste	Norte
0	743.753,5	7.134.395,0
1	743.769,7	7.134.406,7
2	743.786,0	7.134.418,3
3	743.802,2	7.134.430,0
4	743.818,4	7.134.441,7
5	743.834,7	7.134.453,4
6	743.850,9	7.134.465,0
7	743.867,1	7.134.476,7
8	743.883,4	7.134.488,4
9	743.899,6	7.134.500,1
10	743.915,9	7.134.511,7
11	743.930,8	7.134.525,0
12	743.942,9	7.134.540,9
13	743.951,5	7.134.559,0
13+2,78	743.952,4	7.134.561,6
13+14,19	743.955,4	7.134.572,6
14	743.956,4	7.134.578,4

10.1.5.2 *Headland* da Praia Central

O *headland* da praia Central possui um trecho reto de cerca de 180 m, terminando no cabeço da estrutura (*headland* propriamente dito), com 25 m de raio, perfazendo um total de 205 m na crista. Considerando o comprimento até o pé da estrutura, a extensão total é de 224 m.

Esta estrutura terá a função de ajudar na estabilização da areia em caso de erosão da praia Central. Seu dimensionamento foi orientado para que, após o engordamento, a estrutura não seja uma barreira no transporte litorâneo de sedimentos. Entretanto, caso haja um recuo da linha de praia, o *headland* deverá funcionar como um elemento de fixação de areia no local.

O eixo do enrocamento está definido pelos seus pontos notáveis, cujas coordenadas UTM estão apresentadas no QUADRO 13.

QUADRO 13 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO HEADLAND DA PRAIA CENTRAL.

Estaca	Coordenada UTM (m)	
	Leste	Norte
0	744.059,4	7.136.173,3
1	744.077,4	7.136.164,8
2	744.095,5	7.136.156,2
3	744.113,6	7.136.147,7
4	744.131,7	7.136.139,1
5	744.149,8	7.136.130,6
6	744.167,8	7.136.122,0
6+9,69	744.176,6	7.136.117,9
7	744.185,9	7.136.113,5
8	744.204,0	7.136.104,9
9	744.222,1	7.136.096,4

10.1.5.3 Espigão Centro de Caieiras

O espigão Centro de Caieiras possui um trecho retilíneo com extensão de 166 m na crista e de 185 m até o pé do enrocamento.

Este espigão terá a função de ajudar na estabilização da areia a ser colocada em caso de erosão da praia. Seu comprimento foi planejado para que, após o engordamento, a estrutura não seja uma barreira no transporte litorâneo de sedimentos. Entretanto, caso haja um recuo da linha de praia, o espigão deverá funcionar como um elemento de fixação da areia no local.

O eixo do enrocamento está definido pelos seus pontos notáveis, cujas coordenadas UTM estão apresentadas no QUADRO 14.

QUADRO 14 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO ESPIGÃO CENTRO DE CAIEIRAS.

Estaca	Coordenada UTM (m)	
	Leste	Norte
0	744.055,3	7.137.081,8
1	744.074,8	7.137.086,5
2	744.094,2	7.137.091,1
3	744.113,7	7.137.095,8
4	744.133,1	7.137.100,4
5	744.152,6	7.137.105,1
6	744.172,0	7.137.109,7
7	744.191,5	7.137.114,4
7+15,53	744.206,6	7.137.118,0
8	744.210,9	7.137.119,0

10.1.5.4 Espigão Norte de Caieiras

O espigão Norte de Caieiras possui um trecho retilíneo com extensão de 69 m na crista e de 81 m até o pé do enrocamento.

Esta estrutura também terá a função de ajudar na estabilização da areia a ser colocada. Seu comprimento foi planejado para que, após o engordamento, a estrutura não seja uma barreira no transporte litorâneo de sedimentos. Entretanto, caso haja um recuo da linha de praia, o espigão deverá funcionar como um elemento de fixação da areia no local.

O eixo do enrocamento está definido pelos seus pontos notáveis, cujas coordenadas UTM estão apresentadas no QUADRO 15.

QUADRO 15 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO ESPIGÃO NORTE DE CAIEIRAS.

Estaca	Coordenada UTM (m)	
	Leste	Norte
0	743.797,5	7.137.266,1
1	743.801,1	7.137.285,8
2	743.804,8	7.137.305,4
3	743.808,4	7.137.325,1
3+16,52	743.811,5	7.137.341,3
4	743.812,1	7.137.344,8

10.1.5.5 Guia-Correntes Prainha Leste

O guia-correntes Prainha Leste possui um trecho curvilíneo com extensão de 112 m na crista e de 118 m até o pé do enrocamento.

Este guia-corrente terá a função evitar que a areia proveniente do engordamento venha a obstruir a drenagem que se encontra nesse canto da praia.

O eixo do enrocamento está definido pelos seus pontos notáveis, cujas coordenadas UTM estão apresentadas no QUADRO 16.

QUADRO 16 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO GUIA-CORRENTES PRAINHA LESTE.

Estaca	Coordenada UTM (m)	
	Leste	Norte
0	744.942,3	7.138.440,1
1	744.949,0	7.138.421,3
2	744.954,9	7.138.402,2
3	744.958,9	7.138.382,6
4	744.956,7	7.138.362,7
5	744.948,3	7.138.344,5
5+10	744.943,2	7.138.335,9

10.1.5.6 Guias-Correntes Prainha Centro

O par de guias-correntes Prainha Centro é composto por duas estruturas retilíneas. A estrutura Leste tem 164 m de extensão na crista e a Oeste possui cerca de 152 m. Considerando as extensões até o pé dos enrocamentos, as extensões são de aproximadamente 173 m e 159 m para os molhes Leste e Oeste, respectivamente. Estas estruturas terão a função de ajudar na drenagem da região, evitando que a areia da praia venha a assorear essa desembocadura.

Os eixos dos guias-correntes estão definidos pelos seus pontos notáveis, cujas coordenadas UTM estão apresentadas no QUADRO 17 e no QUADRO 18 para os guias-correntes Leste e Oeste, respectivamente.

QUADRO 17 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO GUIA-CORRENTES PRAINHA CENTRO – MOLHE LESTE.

Estaca	Coordenada UTM (m)	
	Leste	Norte
0	744.459,5	7.138.220,1
1	744.470,6	7.138.203,4
2	744.481,7	7.138.186,8
3	744.492,8	7.138.170,1
4	744.503,8	7.138.153,5
5	744.514,9	7.138.136,8
6	744.526,0	7.138.120,2
7	744.537,1	7.138.103,5
7+16,54	744.546,3	7.138.089,8
8	744.548,2	7.138.086,9

QUADRO 18 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO GUIA-CORRENTES PRAINHA CENTRO – MOLHE OESTE.

Estaca	Coordenada UTM (m)	
	Leste	Norte
0	744.438,4	7.138.207,5
1	744.449,4	7.138.190,8
2	744.460,4	7.138.174,1
3	744.471,3	7.138.157,4
4	744.482,3	7.138.140,7
5	744.493,3	7.138.124,0
6	744.504,3	7.138.107,3
7	744.515,3	7.138.090,6
7+10,0	744.520,8	7.138.082,2

10.1.5.7 *Headland* Prainha Oeste

O *Headland* Prainha Oeste possui um trecho curvilíneo de raio de 22,82 m e com extensão de 74,60 m na crista.

Esta estrutura terá a função de conter parcialmente a areia a ser colocada na praia, mitigando a erosão nesse local.

O eixo do enrocamento está definido pelos seus pontos notáveis, cujas coordenadas UTM estão apresentadas no QUADRO 19.

QUADRO 19 – COORDENADAS UTM DOS PONTOS NOTÁVEIS DO HEADLAND PRAINHA OESTE.

Estaca	Coordenada UTM (m)	
	Leste	Norte
0	744.069,3	7.137.965,5
0+10m	744.076,1	7.137.958,2
1	744.079,2	7.137.948,7
1+10m	744.078,0	7.137.938,8
2	744.072,6	7.137.930,4
2+10m	744.064,1	7.137.925,0
3	744.054,2	7.137.923,9
3+10m	744.044,7	7.137.927,0
3+14,62m	744.041,0	7.137.929,8

10.2 ENGORDAMENTO ARTIFICIAL

A TABELA 23 apresenta um resumo com as dimensões das faixas de engordamento em cada orla e os volumes estimados para engordamento.

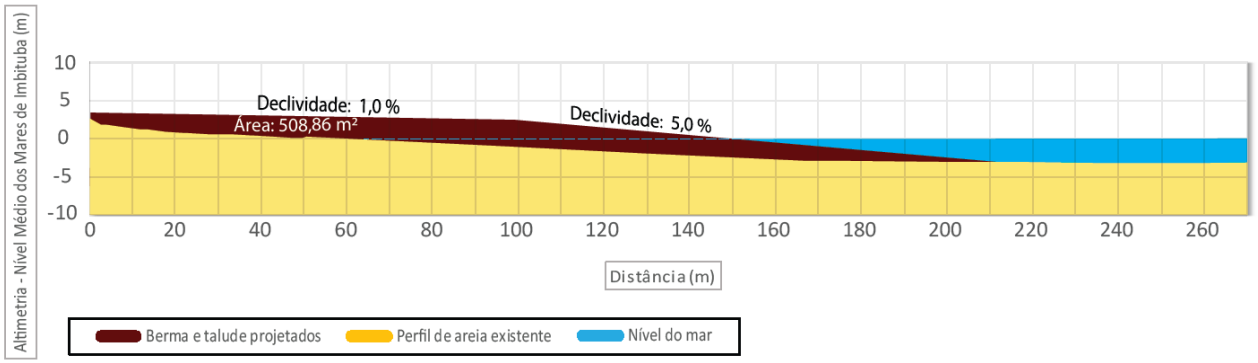
TABELA 23 – DIMENSÕES DAS FAIXAS DE ENGORDAMENTO E VOLUMES ESTIMADOS.

Orla	**Trecho**	**Berma**				**Talude**		**Volume de Engordamento**
		Cota Inicial	**Cota Final**	**Largura**	**Declividade (V:H)**	**Cota Inicial**	**Declividade (V:H)**	
Central	-	3,5 m	2,5 m	100 m	1:100	2,5 m	1:20	769.433 m³
Caieiras	Norte	3,0 m	2,0 m	50 m	1:50	2,0 m	1:10	26.990 m³
	Sul	2,5 m	0,9 m	80 m	1:50	0,9 m	1:20	86.122 m³
Prainha	Oeste	2,5 m	1,0 m	20 a 100 m	variável	1,0 m	1:5	17.307 m³
	Leste	3,0 m	1,0 m	50 a 100 m	variável	1,0 m	1:20	67.069 m³
SUBTOTAL								**966.920 m³**
TOTAL COM PERDAS (20%)								**1.160.304 m³**

Considerando as perdas no processo de dragagem, transporte e espalhamento dos sedimentos na praia (adotada em 20%), o volume total de dragagem para engordamento é de 1,16 milhão de m³. Considerando que também será utilizada areia para preenchimento dos Geotubos têxteis de alta densidade (núcleo das estruturas semirrígidas) (69.724 m³), o volume total a ser dragado foi majorado para 1,3 milhão de m³, que é o valor a ser utilizado para fins de orçamento do empreendimento.

A FIGURA 106 ilustra um perfil transversal de praia referente à Orla Central. O perfil de areia existente é referente aos levantamentos realizados em março de 2024. O perfil final projetado após as obras de engordamento é indicado em cor marrom. O primeiro trecho do perfil (berma) possui uma pequena inclinação (1,0%) e se estende até alcançar uma largura de 100 m. A partir desse ponto, inicia o talude com uma maior declividade (5,0%), prolongando-se até encontrar o fundo natural do mar. Observa-se que nesta seção, embora o engordamento da berma seja de 100 m, há aproximadamente 110 m adicionais referentes ao talude, totalizando uma largura total de 210 m. Destaca-se também o volume da ordem de 508 m³/m de areia a ser lançado nesta seção, o que corresponde a um valor satisfatório e de acordo com outras obra do mesmo porte (faixa recomendada de 400 a 700 m³/m). O ANEXO 5 – PERFIS DE PRAIA (ATUAL E PROJETADO) apresenta todos os perfis de praia de 100 m em 100 m para as três orlas.

FIGURA 106 – EXEMPLO DE PERFIL TRANSVERSAL DE PRAIA NA ORLA CENTRAL.



10.2.1 *Overflow*

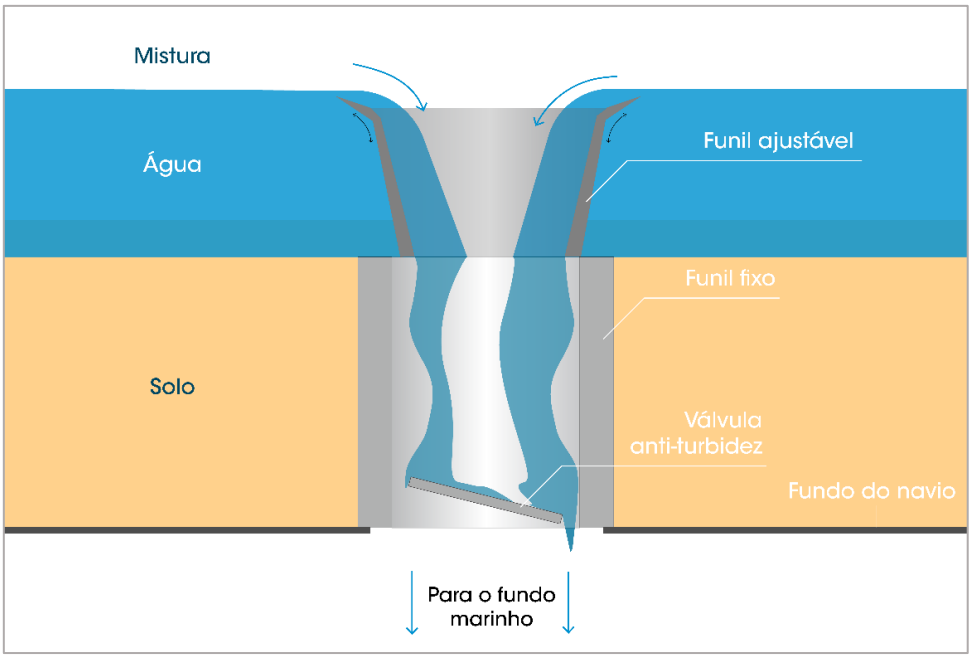
Durante a dragagem, é realizada a sucção de sedimentos misturados com água. A concentração de sedimentos na mistura varia em função do tipo de boca de sucção, potência das bombas, granulometria dos sedimentos, pressão na boca da draga quando em contato com o leito, entre outros aspectos operacionais. Normalmente, adota-se uma concentração de 20% de sedimentos.

Portanto, à medida que a draga succiona os sedimentos do leito e a cisterna vai sendo preenchida, a maior parte do volume é composto por água. Para otimizar a eficiência do processo de dragagem, maximizando a retenção de sólidos na cisterna, é utilizado um sistema de transbordamento denominado “*overflow*”. Este dispositivo semelhante a um funil permite que o excesso de água (na parte superior da cisterna) seja drenado para o corpo hídrico, disponibilizando assim um maior volume na cisterna para preenchimento com sedimentos.

Para minimizar o efeito da turbidez gerada pelas partículas sólidas em suspensão durante o transbordamento, as dragas TSHD possuem um dispositivo chamado “válvula verde” ou “válvula ambiental” (FIGURA 107 e FIGURA 108). A válvula verde é um dispositivo de controle hidráulico montado no interior da tubulação de *overflow*, cuja função é reduzir a turbidez ao impedir a entrada de ar na mistura.

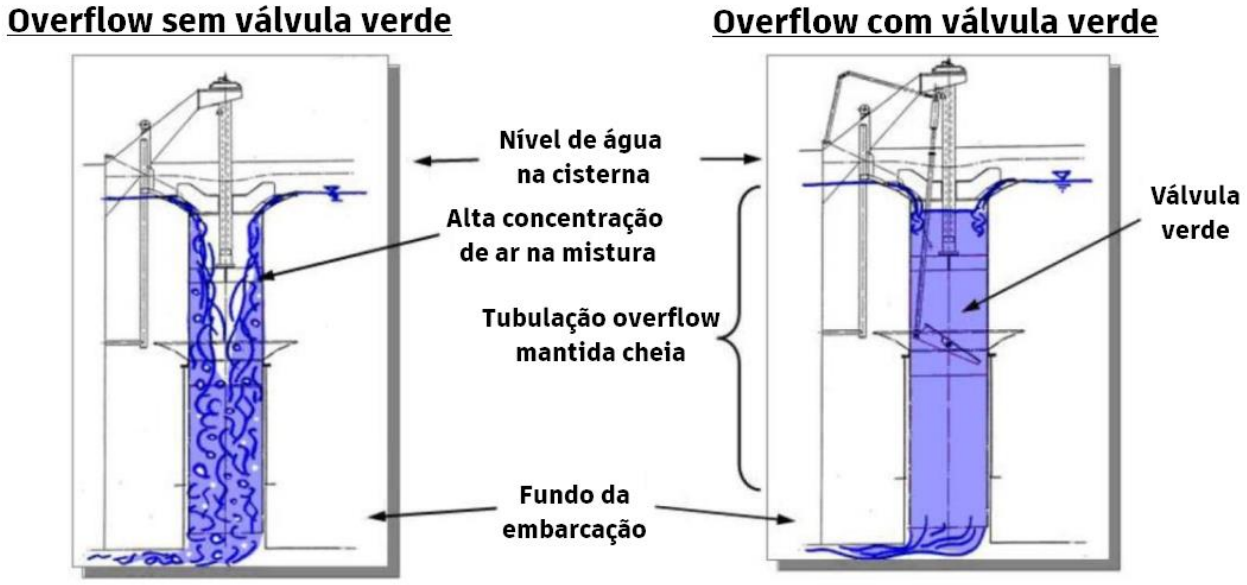
Em uma dragagem sem válvula verde, o ar que entra na mistura mantém as partículas de sedimento em suspensão por mais tempo, criando uma pluma de sedimentos mais densa, com maior duração e consequentemente mais extensa. Ao usar uma válvula verde, há menos ar entrando no sistema, facilitando uma decantação mais rápida dos sedimentos e proporcionando uma pluma menor, de curta duração e confinada nas partes mais profundas da coluna d’água, onde as correntes possuem menor potencial para a dispersão dos sedimentos.

FIGURA 107 – SISTEMA DE *OVERFLOW* COM VÁLVULA VERDE.



FONTE: ADAPTADO DE JAN DE NUL, 2011.

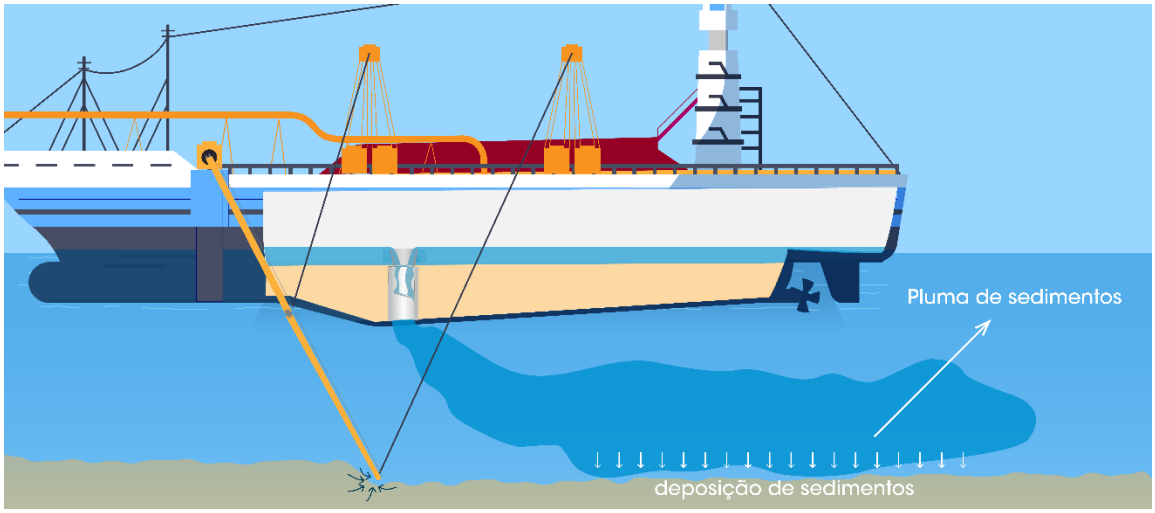
FIGURA 108 – *OVERFLOW* COM E SEM VÁLVULA VERDE.



FONTE: BOSKALIS, 2018.

Devido à sua importância na redução do impacto ambiental, dragas com a válvula verde são utilizadas na grande maioria dos projetos onde exista uma fração considerável de partículas finas, como silte ou argila. No presente projeto, a maior parte dos sedimentos será constituída por areia. Esse fato, associado à utilização do *overflow* ambiental, deverá implicar na redução da pluma de sedimentos (FIGURA 109), minimizando a turbidez tanto em intensidade, quanto em duração e em extensão.

FIGURA 109 – PLUMA DE SEDIMENTOS GERADA DURANTE O *OVERFLOW*.



10.2.2 Premissas e Especificações Técnicas

CARACTERÍSTICAS DA DRAGA	
Fonte de areia	jazida submarina
Equipamentos	Draga TSHD
Capacidade total da cisterna [m³]	6.000

VOLUME:	
Volume calculado pelas seções [m³]	1.083.333
Perdas locais (*overflow*)	20%
Volume de contrato líquido [m³]	**1.300.000**
Empolamento (%)	20%
Volume bruto a ser dragado [m³]	1.560.000
Volume total a ser dragado [m³]	1.560.000

PRODUÇÃO	
Distância para a área de jazida [km]	4
Velocidade máxima de navegação [nó]	14
Velocidade em carga [nó]	13
Tempo médio de navegação [min]	10
Tempo de carregamento (dragagem) [min]	**80**
Tempo de manobras no processo de carga [min]	5
Número de posições da linha de recalque	1
O acoplamento com linha flutuante [min]	10
Bombeamento de água pipeline (limpeza) [min]	30
Desacoplamento da linha de flutuação [min]	5
Descarga e manobra de retorno [min]	**110**
Tempo de navegação médio (carregado) [min]	11
Tempo total do ciclo [min]	**260**
Coeficiente de enchimento da cisterna	85%
Carga média de areia dragada [m³]	5.100
Carga remanescente após descarga [m³]	255
Quantidade de areia [m³] descarregada	4.845
Produção de dragagem [m³/ h]	**1.117**

TEMPO DE TRABALHO:	
Total de dias de trabalho por semana	**7**
Total de horas por dia	**24**
Coeficiente de eficiência das operações	**0,85**
Total de horas de dragagem por semana	**143**
Produção semanal em m³ / semana	**159.467**

CRONOGRAMA:	
Movimentação linhas (dias)	**7**
Percentual de tempo com paradas para manutenção	**10%**
Percentual de dias não trabalháveis	**15%**
Tempo desmontagem dos equipamentos (dias)	**4,8**
Tempo de trabalho útil em dias	**92,3**
Total de dias de dragagem contrato (acumulado em dias)	**116,8**
Total de dragagem (em meses)	**3,9**

10.2.3 Avaliação do tempo de vida útil da estrutura

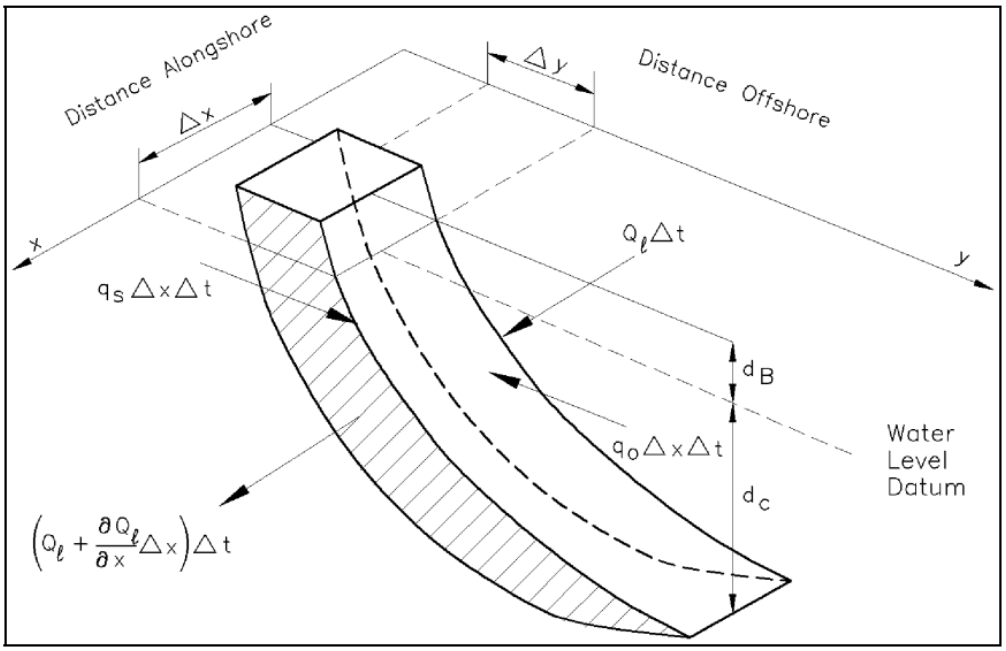
A avaliação da vida útil de um engordamento de praia é essencial para garantir a eficácia e a sustentabilidade dessa intervenção costeira. A estimativa da longevidade do engordamento permite prever o período em que a intervenção será eficaz antes de necessitar de uma nova reposição de sedimentos.

A longevidade do engordamento pode ser definida como a duração (tempo) para que o volume total da praia, após o engordamento, seja finalmente reduzido ao volume total da praia imediatamente antes do engordamento. A vida útil do engordamento é determinada principalmente pela relação entre o volume de areia depositado e a taxa de transporte na qual o sedimento é movimentado para fora do domínio da praia na direção ao longo da costa (perdas por dispersão lateral e transversal).

Para avaliar o tempo de vida útil foi utilizada a metodologia descrita em USACE (2008). A publicação utiliza a equação linearizada do transporte de sedimentos ao longo da costa combinada com a equação da continuidade para desenvolver a teoria de linha única da evolução da linha de costa, conforme Pelnard-Considère (1956).

A metodologia avalia um volume de controle, sendo uma pequena porção do perfil da praia. Esse volume pode ser definido como um prisma trapezoidal delimitado pela superfície da praia, envolvendo a altura da berma (d_B), a profundidade de fechamento (d_C) e uma largura diferencial (Δx), como ilustrado na FIGURA 110.

FIGURA 110 – VOLUME DE CONTROLE DO PERFIL DE PRAIA.



FONTE: USACE (2008).

Considerando o volume de controle, a alteração da linha de costa em planta pode ser estimada utilizando a equação do transporte longitudinal de sedimentos, pela derivação da seguinte equação:

$$\boldsymbol{\varepsilon \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\partial y}{\partial t}} \quad (15)$$

Onde:

y = posição da linha de costa em função da coordenada ao longo da praia (x) e do tempo (t);

ε = coeficiente de difusividade da linha de costa (m²/ano);

x = coordenada ao longo da costa (m);

t = tempo (anos).

O coeficiente de difusividade da linha de costa (ε) representa a taxa de espalhamento dos sedimentos ao longo da costa devido ao transporte longitudinal de sedimentos. Quanto maior o valor de ε, mais rapidamente a linha de costa se ajusta às perturbações, indicando uma resposta mais difusa (distribuição uniforme de sedimentos ao longo da praia). Quanto menor o valor de ε, mais tempo leva para o perfil da praia se ajustar, resultando em um comportamento mais estável. Baseado na equação de CERC (*Coastal Engineering Research Center*) (USACE, 1984), o coeficiente de difusividade da linha de costa (ε) pode ser obtido pela equação:

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{K\, H_B^2\, C_{gb}}{8} \left(\frac{\rho}{(\rho_s - \rho)}\right)\left(\frac{1}{(1-n)}\right)\left(\frac{1}{(d_B + d_C)}\right)} \quad (16)$$

Onde:

K = coeficiente de transporte sedimentar, geralmente variando 0,39 até 0,92 dependendo das condições locais (adm);

H_b = altura de quebra da onda (m);

C_{gb} = velocidade do grupo de ondas na zona de quebra (m/s);

d_b = altura da berma (m);

d_c = profundidade de fechamento (m);

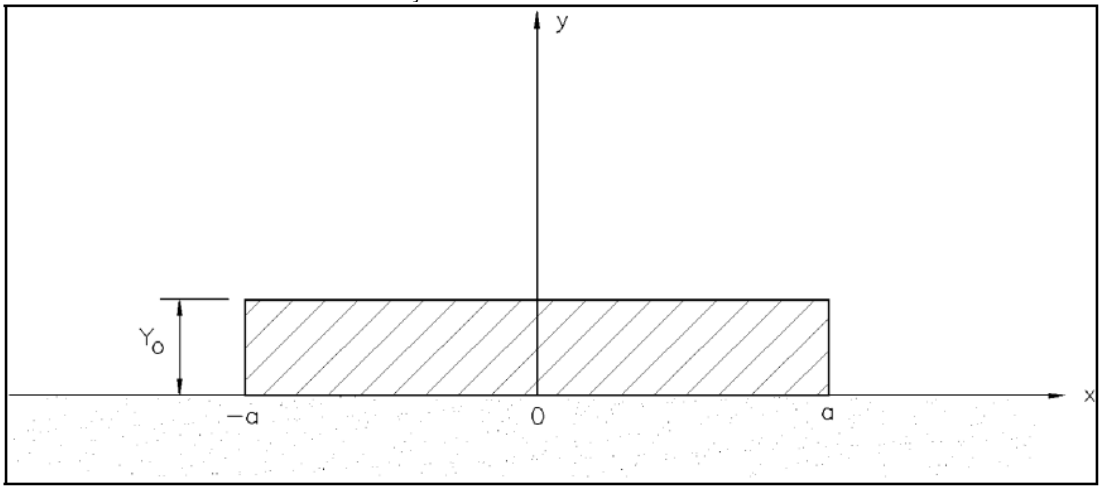
ρ = densidade da água salgada (kg/m³);

ρ_s = densidade do sedimento (kg/m³);

n = porosidade no meio granular (0,35 até 0,5 para areia fina).

Para avaliação do engordamento de praia, a metodologia assume que a praia tem um perfil de equilíbrio que se desloca paralelamente a si mesmo, ou seja, mudanças na linha de costa ocorrem apenas na direção horizontal (ao longo do plano), enquanto a forma vertical do perfil da praia se mantém constante. Além disso, simplifica-se a influência do comprimento da linha de costa, considerando um engordamento de praia inicialmente retangular, construído em uma praia longa e reta (FIGURA 111). O enchimento ocorre na faixa de $-a < x < +a$ e se estende uma distância Y_0 em direção ao mar a partir da praia original.

FIGURA 111 – REPRESENTAÇÃO DA BERMA DO ENGORDAMENTO EM PLANTA.



FONTE: USACE (2008).

De acordo com USACE (2008), a longevidade do engordamento depende da taxa de dispersão dos sedimentos ao longo do tempo, que pode ser descrita utilizando o parâmetro adimensionalizado do meio-comprimento da praia. A proporção do volume de enchimento ainda presente dentro da área do projeto em um determinado tempo (t) é calculada pela equação:

$$\boldsymbol{p(t) = 1 - \frac{\sqrt{\varepsilon\, t}}{a\sqrt{\pi}}} \qquad (17)$$

Onde:

p = proporção do volume de engordamento (%);

a = metade da faixa de enchimento da praia (prisma) (m);

ε = coeficiente de difusividade da linha de costa (m²/ano);

t = tempo decorrido desde a execução do engordamento (anos).

Para a determinação da vida útil do engordamento, deve-se selecionar uma proporção e avaliar o tempo decorrido desde o engordamento. Ressalta-se que a

metodologia apresenta limitações, não considerando a curvatura existente nas praias, assim como as condições de erosão pontuais ao longo da faixa de engordamento. A redução prevista considera uma média anual constante, desconsiderando variações bruscas decorrentes de eventos pontuais.

10.2.3.1 Determinação dos parâmetros para as praias de Guaratuba

Coeficiente de transporte sedimentar

O coeficiente de transporte sedimentar (K) é um parâmetro empírico adimensional que aparece em equações de transporte de sedimentos ao longo da costa, tendo como base a fórmula de CERC (*Coastal Engineering Research Center*). Ele representa a eficiência com que a energia das ondas transporta sedimentos ao longo da praia.

A determinação de K pode ser feita por diferentes metodologias, incluindo abordagens empíricas, analíticas e numéricas. A USACE (1984) recomenda a utilização de um valor fixo de K, sendo igual a 0,39, considerando a altura significativa das ondas (Hs). Para a condição de quebra das ondas, o valor recomendado é 0,92. Para Komar e Inman (1970), o valor de K recomendado é de 0,77, considerando a condição de quebra. Bailard (1984) desenvolveu uma equação para a determinação de K com base na magnitude da velocidade orbital e da velocidade de queda do sedimento. Del Valle et al (1993) apresentaram uma equação correlacionando o valor de K com o diâmetro (D_{50}) do sedimento transportado.

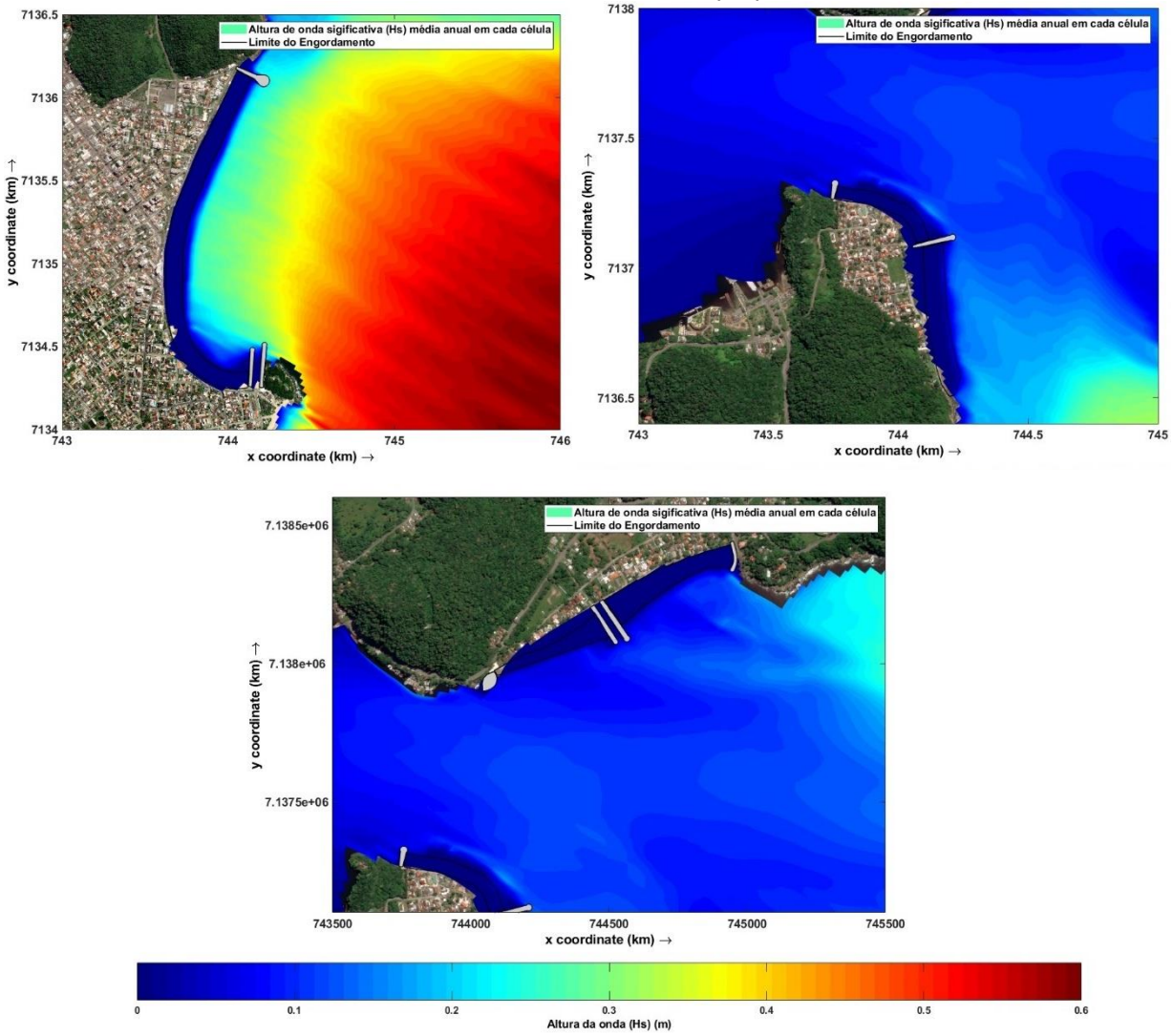
$$\boldsymbol{K = 1,4\, e^{(-2,5\, D_{50})}} \qquad (18)$$

Conforme a avaliação de sedimentos para a área de estudo, o valor do D_{50} é igual a 250 µm, resultando num K = 0,75, sendo o valor aplicado na avaliação do tempo de vida útil do engordamento para todas as praias.

Altura e profundidade de quebra da onda

Para determinação da altura da onda de quebra (H_b) foram considerados os resultados da altura de onda significativa (H_s) média para o ano de 2014, provenientes da modelagem hidrodinâmica local (modelo Micro). A FIGURA 112 apresenta os valores de altura significativa das ondas (H_s) média anual para cada praia, com a implantação das estruturas.

FIGURA 112 – ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDA (HS) MÉDIA ANUAL DE 2014.



Dada a variação de valores de H_s ao longo das praias, foi atribuído um valor único de H_s para representar cada praia. Com base na equação de quebra de onda de Kamphuis (1991) e com as características do resultado de H_s médio anual, o valor de coeficiente de quebra de onda para todas as praias foi considerado igual a 1, resultando em H_s=H_b.

Para a determinação da profundidade de quebra (d_b) em cada praia, foi utilizado o índice de quebra (γ_b), que representa a relação entre altura de onda de quebra e sua profundidade (ANEXO 9 – ÍNDICE DE QUEBRA DA ONDA). O valor do índice depende do tipo de fundo e das características costeiras. Para praias com fundo arenoso, os valores usuais ficam entre 0,7 e 0,8. Considerando ondas não dispersivas, McCowan (1894) sugere um valor de 0,78 para praias arenosas, sendo o valor adotado. O

QUADRO 20 apresenta os valores de Hb médio anual considerado em cada uma das praias e as profundidades de quebra (db).

QUADRO 20 – ALTURA DE ONDA DE QUEBRA (H_B) MÉDIA ANUAL EM 2014 PARA CADA PRAIA.

Praia	Hb médio anual (m)	db (m)
Central	0,35	0,45
Caieiras	0,20	0,26
Prainha	0,18	0,23

Caracterização do Prisma de Engordamento

Para representação do prisma de engordamento, foram consideradas as características de cada uma das praias e o volume de engordamento previsto. A profundidade de fechamento de cada praia foi considerada equivalente à profundidade no início do talude do engordamento. A QUADRO 21 resume os valores aplicados para cada praia.

QUADRO 21 – CARACTERIZÇÃO DO PRISMA DE ENGORDAMENTO PARA CADA PRAIA.

Praia	Comprimento do prisma (m)	Largura do prisma (m)	Volume engordado (m³)	Altura da berma (m)	Profundidade de fechamento (m)
Central	2.547	100	769.433	3,07	2,5
Caieiras	1.086	65	113.112	1,60	3,5
Prainha	1.099	50	84.376	1,69	3,5

10.2.3.2 Estimativa da vida útil do engordamento

Com base nos valores dos parâmetros definidos para o local de estudo, foi calculado o coeficiente de difusividade para cada uma das praias de Guaratuba. Para o cálculo, foi considerado que a velocidade do grupo de ondas na zona de quebra (C_{gb}) está na condição de águas rasas ($C_{gb} = \sqrt{gh}$). O valor de porosidade aplicado foi de 0,4 e a densidade do sedimento de 2650 kg/m³.

Utilizando a caracterização do prisma e uma proporção fixa de 90% do volume total do engordamento, foi calculado o tempo de vida útil das intervenções. A QUADRO 22 resume os valores obtidos para cada praia.

QUADRO 22 – RESUMO DA AVALIAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO ENGORDAMENTO.

Praia	Coeficiente de difusividade da linha de costa (m²/ano)	Metade da faixa de enchimento da praia (prisma) (m)	Proporção do volume de engordamento deslocado (%)	Tempo de vida útil do engordamento (anos)
Central	143.000	1.273,5	90	28
Caieiras	38.550	543,0	90	19
Prainha	29.975	549,5	90	25

O resultado obtido mostrou que a média do período previsto de vida útil para os engordamentos é superior a 20 anos. Para a Praia Central, o período resultante foi superior às demais praias, pois apesar de apresentar um clima de onda mais intenso, o volume total de engordamento gerou uma boa reserva de areia local. Para as praias de Caieiras e Prainha, devido à maior proteção natural das ondas, a difusividade da linha da costa resultante apresentou valores menos intensos, sendo adequado ao volume de engordamento proposto.

Ressalta-se que os períodos resultantes são estimativas com base na metodologia apresentada, a qual apresenta limitações e adequações para a condição local. O valor obtido pode ser utilizado como um indicativo inicial para ajudar na determinação da periodicidade para novas intervenções, melhorando o gerenciamento da faixa de praia e reduzindo o risco de impactos negativos a longo prazo. Recomenda-se que a previsão seja atualizada em conjunto com um monitoramento contínuo, permitindo, por exemplo, que a manutenção seja limitada a uma estação do ano específica, evitando a temporada turística ou períodos com restrição ambiental, como a temporada da pesca da Tainha.

11 METODOLOGIA CONSTRUTIVA

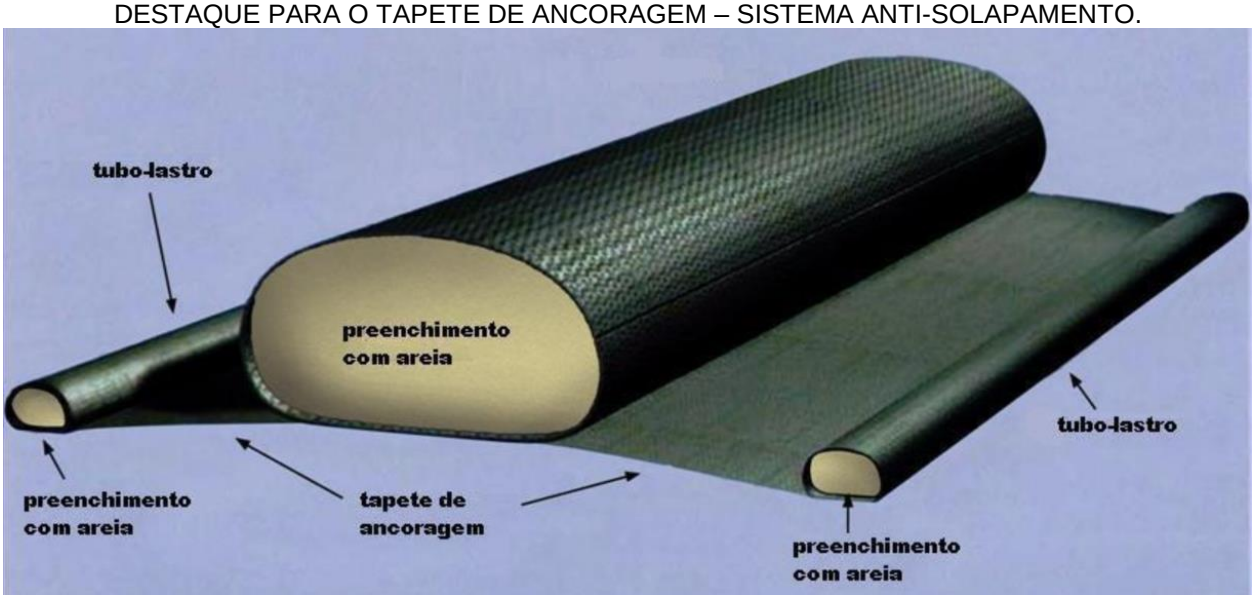
Recomenda-se que as estruturas semirrígidas sejam construídas antes do engordamento artificial, com o objetivo de evitar a escavação de volumes adicionais de areia no local de implantação das estruturas semirrígidas. Entretanto, poderá ser permitido um engordamento artificial em locais que não comprometam a execução das estruturas semirrígidas e que estejam sofrendo um processo erosivo mais intenso. Além disso, a necessidade de compatibilizar as obras de engordamento evitando períodos de restrição ambiental (ex: defeso do camarão) ou períodos com maior fluxo de turistas (temporada de verão) pode influenciar na alteração do cronograma executivo.

11.1 GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE

Primeiramente deverão ser construídos os núcleos das estruturas semirrígidas, utilizando unidades de Geotubo têxtil de alta densidade preenchidas com areia. Esta solução proporciona a redução do tempo de obra, torna a obra mais econômica, melhora a logística dos equipamentos e principalmente diminui os impactos ambientais.

A fim de evitar o solapamento das unidades de geotubos durante o período de construção do núcleo, serão instalados tapetes de ancoragem (FIGURA 113). Outra vantagem da adoção desse tipo de solução é a possibilidade de utilização do topo da estrutura como caminho de serviço para passagem de equipamentos pesados. A FIGURA 114 apresenta como exemplo a Marina Stela Maris, Casablanca – Equador, com espigões que tiveram seu núcleo construído em Geotubo têxtil de alta densidade e coberto com pedras.

FIGURA 113 – ELEMENTOS GERAIS DA TECNOLOGIA GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE COM DESTAQUE PARA O TAPETE DE ANCORAGEM – SISTEMA ANTI-SOLAPAMENTO.



FONTE: IAT, 2020.

FIGURA 114 – ESPIGÕES E DIQUES DE CONTENÇÃO DE RETROÁREA PARA CONSTRUÇÃO DE MARINA EM CASABLANCA – EQUADOR.



FONTE: IAT, 2020.

11.1.1 Condições Locais

Cada estrutura proposta possui suas particularidades locais, entretanto este documento recomenda um método construtivo geral que poderá sofrer alterações conforme verificação *in loco* da equipe técnica de cada ambiente em que será construída cada estrutura.

Deverão ser consideradas para o estudo da metodologia as condições de vento, ambiente do entorno, condições de acesso, declividades e a altura média das ondas e sua frequência para definição dos equipamentos.

11.1.2 Sequência Geral

Para a instalação das unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade e tapetes de ancoragem, recomenda-se a utilização de uma treliça metálica de posicionamento, içada por guindaste. O processo construtivo tem uma sequência básica de ações listadas a seguir:

1. Verificação da tábua de marés;
2. Verificação das condições climáticas e, por conseguinte, condições de ondas;
3. Inspecionar o local por meio de mergulhadores;
4. Determinar a cota de fundo por levantamento batimétrico;
5. Remover eventuais elementos que possam puncionar o geotêxtil tecido do Geotubo Têxtil de Alta Densidade;
6. Posicionar uma draga de sucção e recalque em local pré-determinado para bombeamento da emulsão (areia + água);
7. Posicionar o guindaste;
8. Instalar o tapete de ancoragem e a unidade geotubo através de treliça metálica;
9. Preencher a unidade geotubo com areia através da draga de sucção e recalque;
10. Repetir o processo até completar a seção conforme projeto;
11. Instalar camada de brita graduada #2 com espessura mínima de 50 cm para caminho de serviço;
12. Avançar com equipamentos para nova seção até a finalização da estrutura.

11.1.3 Estocagem

Todas as unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade e tapetes de ancoragem deverão ser estocadas em local seco, de preferência abrigados da luz solar, e deverão permanecer com sua embalagem. Os produtos só deverão ser transportados para o local de instalação em quantidade suficiente para as atividades do dia de trabalho.

A embalagem deverá ser retirada cuidadosamente com instrumento que não gere danos ao produto.

11.1.4 Preparação Local

A fim de garantir produtividade na instalação das unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade, alguns cuidados devem ser tomados.

As unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade necessárias para cada dia de trabalho deverão ser transportadas de maneira adequada ao local de instalação e mantidas

em local protegido contra o trânsito dos equipamentos, assim como as bobinas de geotêxtil não tecido e a brita #2.

O local de trabalho deverá ter área disponível e suficiente para a treliça metálica, abertura das unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade e dos tapetes de ancoragem. A FIGURA 115 exemplifica um local de preparação para a instalação das unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade.

FIGURA 115 – PREPARAÇÃO DA ÁREA PARA INSTALAÇÃO DO GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE.



11.1.5 Suprimento de Areia

O enchimento das unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade será feito por bombeamento através de draga de sucção e recalque posicionada no local indicado em projeto, conforme ilustrado na FIGURA 116. O material que constitui o Geotubo Têxtil de Alta Densidade é um geotêxtil tecido de alta resistência, o qual é poroso e, por conseguinte, permite a passagem da água através de seus poros, retendo a areia no seu interior e formando um elemento rígido e monolítico. Quando cheias de areia, material abundante nas imediações do local da obra, as unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade possuem maior estabilidade geotécnica em relação às estruturas de enrocamento, as quais apresentam atulhamento elevado. Além disto, a estrutura em Geotubo Têxtil de Alta Densidade possui recalques reduzidos, mesmo sobre camada de solo mole.

No início do bombeamento, a emulsão deverá ter proporção areia / água em torno de 2% / 98%, inflando o Geotubo Têxtil de Alta Densidade. Em seguida, a emulsão será enriquecida com areia alterando esta proporção para aproximadamente 20% / 80%, a fim de garantir maior produtividade.

FIGURA 116 – DRAGA POSICIONADA PARA RECALQUE DE EMULSÃO (ÁGUA + AREIA) PARA AS UNIDADES GEOTUBO TÊXTIL DE ALTA DENSIDADE.



As unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade descerão ao fundo do mar vazias e então serão preenchidas até aproximadamente 25% do seu volume. Neste momento, a unidade Geotubo Têxtil de Alta Densidade que foi lançada continuará sendo preenchida até a altura especificada em projeto, quando a porta de enchimento Geoport deverá ser fechada.

11.1.6 Equipamentos

Os equipamentos básicos necessários para a instalação das unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade são os listados a seguir:

- Pás-carregadeiras ou retroescavadeiras para transporte das unidades Geotubo Têxtil de Alta Densidade até o local de instalação;

- Guindastes com braço longo e capacidade mínima para lançar a unidade Geotubo Têxtil de Alta Densidade e/ou o tapete de ancoragem na distância especificada em projeto;
- Draga sucção e recalque de 6”;
- Mangotes flexíveis com diâmetro de 6”;
- Corda de poliéster trançada;
- Flutuantes para suporte da tubulação da draga até o local de enchimento;
- Barco de apoio com motor.

Notas:

1. Não são previstos serviços noturnos;
2. O método de instalação poderá ser revisto e alterado conforme visita técnica da equipe especializada.

11.2 ENROCAMENTOS

11.2.1 Sequência Geral

Após a fixação das primeiras unidades de geotubos, que formarão o núcleo da estrutura, o talude final do enrocamento será confeccionado, seguindo a declividade projetada, utilizando-se uma mistura de blocos de rochas obedecendo a proporção estabelecida em projeto.

De forma a reduzir os danos ao núcleo durante a execução, devido à ação das ondas, a camada de filtro, que se depositará sobre a camada do núcleo, deverá ser construída tão logo o núcleo tenha avançado, no máximo, 15 m em direção ao mar. Um guindaste sobre rodas ou esteira deverá suprir o caminhão basculante convencional, que transportará as pedras da região pulmão ao corpo das estruturas. A colocação da berma no pé do filtro e dos taludes deverá ser feita por guindaste de esteiras sendo orientada por mergulhadores. A colocação do pé deverá preceder a colocação da armadura principal, seja esta composta por pedras ou por tetrápodes.

A armadura principal se assentará sobre a camada de filtro, tendo a mesma metodologia de transporte e colocação da camada anterior. A seção completa da armadura principal nunca deverá distar mais que 20 m da frente de trabalho da execução do núcleo.

Os tetrápodes poderão ser construídos em uma usina de concreto comercial e posteriormente transportados e estocados no canteiro de obras. Outra opção é a aquisição de concreto diretamente de uma empresa fornecedora, para a confecção dos tetrápodes

no canteiro de obras. A estocagem será feita com as peças repousadas sobre o terreno. A movimentação dos tetrápodes somente será efetuada após o concreto atingir a resistência mínima a compressão. Um guindaste fará a colocação destes sobre o caminhão basculante convencional, que os transportará até a estrutura do enrocamento, onde o guindaste de esteiras deverá retirar cada peça do veículo e posicioná-la sobre a camada de filtro previamente colocada, conformando os taludes. Esta operação será orientada por homens posicionados sobre a estrutura. Será obedecido o número de duas camadas no tronco e cabeço das estruturas.

11.2.2 Condições dos Blocos de Rocha

As pedras destinadas à construção dos enrocamentos deverão situar-se dentro das especificações de qualidade e forma geométrica exigidas no projeto. As pedras deverão ser perfeitamente sãs, duras, de superfícies angulosas e sem qualquer vestígio de alteração ou possibilidade de alteração futura pela ação da água do mar ou das intempéries. Não poderão fazer parte do material do enrocamento materiais como: vegetais, argilas, terras ou outros materiais estranhos à rocha. Os blocos de rocha não deverão possuir vazios, fissuras, superfícies de fratura nem outras imperfeições ou defeitos que possam favorecer às fraturas nas operações de transporte e colocação assim como durante sua exposição às intempéries. O peso específico da rocha deverá ser de 2,65 t/m³, com tolerância de +/- 15%, com índice de absorção de água inferior a 4%.

Quando houver ocorrência de veios de rocha com suspeita de alteração, serão feitos testes para determinação da adequabilidade da pedra do enrocamento. A rocha alterada removida para exploração da rocha sã não poderá ser aproveitada no enrocamento. Os ensaios deverão ser realizados em 4 (quatro) amostras e executados de acordo com as Normas brasileiras NBR 9778/87 e NBR 7680 ou A.S.T.M. – D2938/71.

As pedras das camadas não devem ser chatas nem alongadas, devem possuir forma geométrica o mais próximo possível da cúbica, com faces aproximadamente retangulares, onde a dimensão maior será, no máximo, o triplo da menor.

Os enrocamentos estão caracterizados pela locação, seções transversais e perfil longitudinal definidos nos desenhos apresentados em volume à parte deste relatório, no Caderno de Obras Marítimas.

A granulometria das pedras e os seus respectivos volumes estimados para os enrocamentos em suas diversas camadas deverão obedecer a especificação constante no desenho, dentro dos valores descritos no QUADRO 9. As pedras deverão ser classificadas

na pedreira comparando-se com unidades-padrão que correspondem aos limites de cada tipo de pedra e ao peso médio.

11.2.3 Condições dos Blocos de Tetrápodes

Os tetrápodes deverão obedecer aos pesos específicos projetados de 2,28, 2,39 e 2,50 t/m³. O concreto a ser produzido para a fabricação das peças deverá ser do tipo simples C40 com resistência mínima a compressão fck de 40 MPa, além de seguir todas as exigências e recomendações das normas ABNT. Na falta desta, deverão ser utilizadas normas ou regulamentações europeias ou americanas. Pesos e volumes devem obedecer a especificação constante na FIGURA 97, dentro dos valores descritos no QUADRO 10.

Para evitar corrosão e consequentes danos aos tetrápodes, não será permitida a colocação de alças de aço engastadas no concreto para o içamento das peças. Os blocos deverão ser içados através de polias passando por debaixo das pernas. A FIGURA 117 e a FIGURA 118 mostram este procedimento.

FIGURA 117 – GUINDASTE SOBRE ESTEIRAS PARA COLOCAÇÃO DE PEÇA DE CONCRETO NA CARAPAÇA DE GUIA-CORRENTES.



FIGURA 118 – ORIENTAÇÃO PARA LOCAÇÃO DE PEÇA DE CONCRETO NA CARAPAÇA DO GUIA-CORRENTES.



11.2.4 Equipamentos

Os equipamentos mínimos sugeridos para a implantação dos enrocamentos são listados a seguir. Os equipamentos poderão ser substituídos por outros equivalentes a critério do Empreiteiro, devendo ter capacidade suficiente para a colocação das pedras, de maneira adequada, dentro das especificações e recomendações dos desenhos do projeto.

- Guindaste sobre esteiras;
- Guindaste sobre rodas;
- Pá carregadeira CAT-966;
- Caminhões basculantes convencionais.

11.2.5 Controle de Execução

11.2.5.1 Controle Topográfico e Subaquático

Deverão ser realizados controle de alinhamento, taludes, níveis e quaisquer outros elementos de topografia necessários à implantação e execução das obras. O controle a ser adotado deve ser previamente submetido e aprovado pela Fiscalização.

A fim de evitar erros na construção, deverá ser feita uma verificação geral de todos os elementos fornecidos do projeto – locação, amarração, dimensões, alinhamentos, nivelamentos, entre outros, assim como todas as verificações que se fizerem necessárias durante as obras.

Quaisquer enganos, dúvidas ou omissões observadas nos desenhos, especificações e demais elementos fornecidos para a execução das obras, deverão ser comunicados por escrito à fiscalização. Cabendo à fiscalização analisar e decidir qualquer alteração daí consequente e discutir com o Empreiteiro as respectivas implicações.

11.2.5.2 Tolerâncias

Na execução de qualquer camada, a tolerância máxima admitida para a interpenetração de pedra de uma camada na que lhe é adjacente é da metade do tamanho médio da pedra daquela camada. Ou seja, esta dimensão consistirá na divergência máxima tolerada entre a seção teórica e a seção executada.

Será exercido todo controle necessário à obtenção dos perfis projetados. Serão admitidas, quando suficientemente comprovadas, a critério da fiscalização, as seguintes tolerâncias dos valores teóricos previstos:

1. Recalque comprovado do subsolo de fundação;

2. Deslocamento de pedras por ressacas, desde que tenham sido deslocados dos limites previstos no projeto.

11.2.6 Normas de Medição

11.2.6.1 Sistema de Medição

A medição será feita diretamente no enrocamento. Todo o material utilizado na execução dos enrocamentos para as camadas de pedras será controlado pelos volumes limitados pelo nível da crista indicada no projeto, pelo leito submarino obtido por levantamentos batimétricos prévios e pelos taludes constantes nos desenhos anexados. A quantidade de blocos de rocha utilizada será pesada nos caminhões que transportarão os mesmos, enquanto que os tetrápodes serão medidos por unidade colocada nos enrocamentos.

11.2.6.2 Seções de Controle

Serão determinadas seções transversais distanciadas a cada 5 metros ao longo do enrocamento. O levantamento dos taludes emersos será feito por nivelamento topográfico nas seções. Já os taludes submersos serão determinados por sondagens (fio de prumo ou equivalente) de 2,0 em 2,0 metros, medidos horizontalmente em cada seção transversal.

11.2.6.3 Limitações

A seção deverá ser completada até, pelo menos, o nível da pista de rolamento dos caminhões transportadores de pedra.

11.2.6.4 Registro

Deverá ser mantido um registro de toda a pedra utilizada, classificada por tipo específico com a perfeita identificação dos locais de colocação. A fiscalização acompanhará este registro permanentemente, podendo utilizá-lo para conferir ou vir a recusar qualquer material fornecido ou colocado fora das especificações.

11.2.6.5 Sistema de Controle

As operações de controle das pedras e dos tetrápodes serão de responsabilidade do Empreiteiro, mesmo que submetidos à fiscalização.

Peso e Tamanho das pedras:

As pedras deverão ter os pesos especificados no projeto. Para a verificação em campo deve-se criar pedras gabaritos que tenham os pesos apropriados, que deverão ser marcadas com seu peso. As pedras a serem lançadas no enrocamento deverão ser selecionadas visualmente por comparação com as pedras gabaritos. Os pesos e tamanhos estão apresentados no QUADRO 9. Para o cálculo das dimensões foi considerado um peso específico da rocha de 2,65 t/m³, admitindo-se tolerância de +/-15%.

Caso seja do interesse do contratante, toda a pedra transportada para o molhe poderá ser pesada para efeito de avaliação. Os caminhões devem ser pesados em balanças de capacidade apropriada, fornecida e instalada pelo Empreiteiro, com a plataforma de tamanho suficiente para suportar o maior caminhão em utilização, simultaneamente com sua carga. A precisão da balança deverá ser de 0,25% do peso medido ou de 50 kg para qualquer carga. Cada caminhão, perfeitamente identificado, deve ter a sua tara conferida toda a vez que for solicitada pela fiscalização. O controle da pedra colocada por meio de pesagem é o meio adequado para a realização de medições provisórias (avaliações) enquanto se procede o levantamento dos perfis definitivos de medição.

Controle:

Toda a vez que a fiscalização achar conveniente, será feita uma medição do volume real da pedra colocada e analisadas eventuais divergências resultantes desta medição.

Pedra em Excesso ou fora das Especificações:

A pedra explorada e não aproveitada nas obras, assim como aquela colocada fora das especificações, estará sujeita a remoção para local indicado pela fiscalização, correndo todos os ônus de remoção por conta do Empreiteiro.

Pavimentação:

Qualquer material colocado para melhorar a pista de rolamento sobre o enrocamento, além daquele incluído nas diversas categorias de pedra, deverá ser removido antes da execução da etapa final do enrocamento acima daquela cota.

Processo construtivo:

O sistema construtivo a ser adotado pela Empreiteira deverá ser apresentado previamente à fiscalização, com detalhes, para que eventuais alterações nos volumes e prazos previstos para os serviços possam ser avaliadas e aprovadas.

O material não especificado, colocado ao longo do enrocamento, necessário à construção e manutenção da pista de rolamento dos caminhões, deverá ser posteriormente removido e não aproveitado em caráter definitivo. A cota da pista de rolamento ao longo do enrocamento deverá ser na superfície superior do núcleo, como indicado nas plantas do projeto.

Qualquer modificação neste sentido, provocada por dúvidas de interpretação do desenho, ou alterações executivas propostas pelo Empreiteiro, deverá ser previamente analisada pela fiscalização, ficando a seu critério a aceitação da mesma.

11.2.6.6 Programação

Cronograma:

Será obedecido rigorosamente o cronograma aprovado, ficando a critério da fiscalização a caracterização de condições mais severas de tempo, de mar e quaisquer outras dificuldades que possam afetar o bom andamento das obras, nas causas de prorrogações justificáveis.

Controle:

Os processos executivos adotados pelo Empreiteiro estarão sujeitos ao controle e aprovação da fiscalização durante toda a obra, visando garantir a integridade do patrimônio do contratante, a interferência indébita com outras áreas no local e obediência às obrigações contratuais de um modo geral.

Interferência:

Uma vez dados por concluídos e aceitos os serviços pela fiscalização, os equipamentos mobilizados para a execução dos enrocamentos deverão ser removidos da área de trabalho. Os que possam interferir com outros serviços em execução, deverão ser imediatamente descolados para onde não haja qualquer perigo daquela interferência.

Responsabilidade:

A presença da fiscalização não exime o Empreiteiro da responsabilidade total na boa execução dos serviços contratados.

O Empreiteiro será inteiramente responsável, na parte executiva, pela segurança e solidez dos serviços executados, e no que se refere à correta aplicação dos métodos e materiais empregados.

11.3 ENGORDAMENTO ARTIFICIAL

A seguir será descrito o processo de dragagem e engordamento artificial das praias de Guaratuba. O planejamento das operações de dragagem e bombeamento depende:

- De uma batimetria confiável atualizada à época de execução da obra, de forma a determinar a profundidade máxima a que as dragas podem se aproximar da costa sem perigo de encalhe ou danos à embarcação ou equipamento;
- De uma estatística de ondas confiável, transladada para a profundidade de operação das dragas, de forma a computar as transformações sofridas pelas ondas, na passagem de águas profundas, onde foram feitas as medições, para rasas, principalmente em sua altura, que é o fator crítico neste tipo de operação.

O volume requerido de engorda (em torno de 1,2 milhão de m³) justifica a contratação de uma ou mais dragas modernas e eficientes. O equipamento de dragagem recomendado para esta operação de engorda é uma draga auto transportadora do tipo Sucção e Arrasto ou, em inglês, *Trailing Suction Hopper Dredge* (TSHD). Este equipamento é capaz de dragar e armazenar em seus porões a areia fina que caracteriza esta porção do litoral paranaense, apresentando boa atuação diante de ondas grandes, desde que fora da zona de arrebentação. Devido à declividade suave da costa e aos grandes volumes envolvidos, convém adotar uma draga que combine boa capacidade de volume com calado relativamente pequeno.

Considerando o elevado volume de areia a ser dragado e recalcado, sugere-se a utilização de 01 Draga Hopper com capacidade 6.000 m³. Esta draga possui calado de cerca de 7 m quando carregada. Assim, considerando a batimetria local, a linha de recalque terá entre 2,0 a 2,5 km. A draga deverá possuir sistema *bow thruster*, que permite maior manobrabilidade e posicionamento dinâmico. O fato de ter capacidade para bombear a mais de 4 km da costa, torna-a indicada para executar engordas das praias, que por terem declividades bastante suaves, obrigam a distâncias de recalque que não estão ao alcance de qualquer equipamento de dragagem. Utilizando uma distância de recalque de 2,0 a 2,5 km, o trabalho estará situado em uma boa faixa de eficiência.

Recomenda-se que a draga hopper adotada tenha características similares às indicadas no QUADRO 23 e ilustrada na FIGURA 119.

QUADRO 23 – CARACTERÍSTICAS DA DRAGA HOPPER PROPOSTA.

Tipo de Draga	**Hopper (TSHD)**
Nome da Draga	Balder R
Bandeira	Dinamarca
Número IMO	9578232
Capacidade da cisterna	6.000 m³
Comprimento	111,3 m
Largura	19,4 m
Calado carregada	7,00 m
Calado descarregada	3,70 m
Profundidade de Dragagem	35 m / 65 m
Arqueação bruta	5.189 t
Tonelagem de porte bruto	6.185 t
Potência do motor	2x 2.985 kW
Bow thruster	2x 450 kW
Potência de bombeamento	2x 2.350 kW
Potência total	11.075 kW
Produção média (vazão sólida)	875 m³/h
Metodologia de dragagem	Sucção e arrasto
Regime de trabalho	24 h por 7 dias
Velocidade de navegação descarregada	15 nós
Velocidade de navegação carregada	14 nós

FIGURA 119 – EXEMPLO DE DRAGA COM AS CARACTERÍSTICAS INDICADAS.



FONTE: VESSEL FINDER, 2025.

Será mobilizada tubulação com diâmetro de 600 mm ou maior, em tubos de 12 metros de comprimento, para a linha de recalque aquática (flutuante ou submersa) e para a linha de recalque terrestre, além de tubos flexíveis e uma "*jointball*" para acoplamento entre a draga e a linha de recalque.

Para as operações marítimas de apoio, tais como transporte de peças e suprimentos até a draga e movimentação das linhas de recalque, conta-se com um uma embarcação de apoio do tipo Multicat, que além de cumprir as funções de rebocador, empurrador e barco de suprimentos, conta com pau de carga com capacidade de executar manobras de içamento de tubulação para engate e desengate.

O equipamento de dragagem foi dimensionado de forma compatível com as profundidades a serem dragadas, com as características dos locais de acoplamento e bombeamento do material para alimentação das praias, bem como com as características dos sedimentos existentes nas orlas de Guaratuba.

De qualquer forma, a confirmação dos comprimentos das linhas de recalque, bem como da posição da draga dependerão de levantamento hidrográfico da área em frente à praia, entre as cotas -5,0 e -10,0 m. Esta análise é fundamental para definir as zonas de acoplamento em função do calado da draga e das cotas existentes, além de estabelecer o comprimento da linha de recalque aquática.

11.3.1 Sequência Geral

Os trabalhos de engorda consistem em um conjunto de serviços, que se iniciam com a dragagem de sedimentos na área da jazida de empréstimo, a qual se encontra no Oceano Atlântico, distante da Praia Central em aproximadamente 4 km. Após o carregamento da draga, a sucção é interrompida e a draga navega até as proximidades da

praia que será alargada. Neste momento, é realizado o acoplamento entre a draga e a tubulação de recalque, através da qual é bombeada a mistura de sedimentos com água até a área de engorda. Equipamentos dispostos na faixa de praia (tais como retroescavadeiras, tratores de esteira e pás-carregadeiras) fazem o espalhamento dos sedimentos e a conformação da berma e dos taludes, conforme previsto em projeto. Após o esvaziamento da cisterna, a draga retorna à área da jazida para reinício do ciclo operacional.

A seguir são ilustradas as etapas do engordamento artificial (FIGURA 120 até FIGURA 124), desde a sucção dos sedimentos na área de jazida até o seu despejo e espalhamento na faixa de areia a ser recomposta.

Antes do início da dragagem na jazida, é necessário construir a linha de recalque, que fará o transporte dos inertes desde a cisterna da draga até a área de constituição da nova plataforma e praia. Este é um dos trabalhos mais importantes numa obra de engorda. Um trabalho deficiente compromete toda a obra, podendo mesmo inviabilizar o seu cronograma.

A tubulação é composta por tubos de 12 metros soldados topo-a-topo. Os trabalhos de soldadura dos tubos devem ser efetuados por empresa credenciada e com extremo controle de qualidade, recorrendo aos mais modernos processos de verificação dos cordões de solda, sob pena de acarretar paradas desnecessárias no serviço para refazer soldas, enquanto se pagam vastas quantias de dinheiro em tempo de aluguel ou diária da draga. A quebra de uma linha em atividade obriga interromper a obra para fazer a reparação, muitas vezes implicando em remover toda a linha para fora da água, refazer as soldas e proceder à sua recolocação.

Caso opte-se pelo uso de uma linha de recalque submersa, após a sua montagem inicia-se a operação de colocação desta na água e posterior afundamento. O processo começa pelo enchimento da linha com ar comprimido, de forma que a mesma flutue ao entrar na água. Será colocado um cabo na ponta da linha que será levado até à draga. Posteriormente, as máquinas de terra empurram progressivamente a linha para dentro da água, sempre numa posição paralela à linha de costa, até que a tubulação comece a flutuar. A partir deste momento a draga puxa a ponta da linha através do cabo até esta chegar ao ponto de acoplamento. Após a linha estar no seu posicionamento correto, o ar é retirado e esta afunda, conformando-se ao leito marítimo. Nesta operação, em função do comprimento da linha submersa, serão usados outros meios flutuantes de apoio.

FIGURA 120 – FASE 1: DESLOCAMENTO DA DRAGA ATÉ A ÁREA DA JAZIDA.

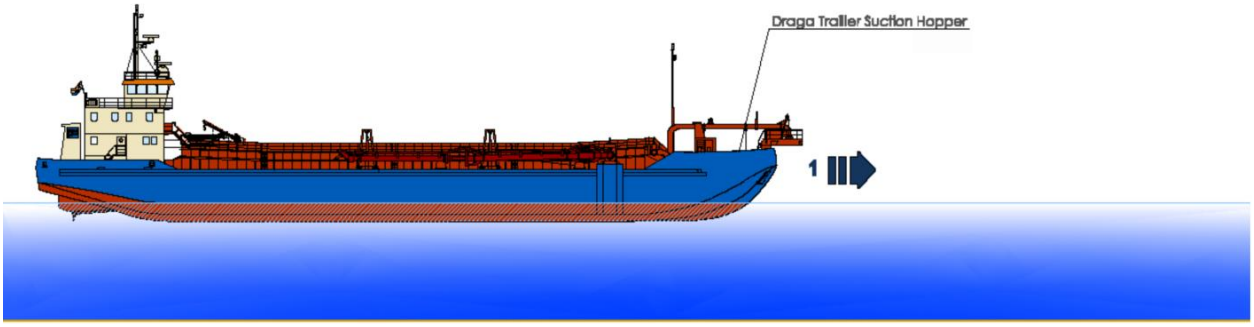


FIGURA 121 – FASE 2: INÍCIO DA DRAGAGEM COM SUCÇÃO E BOMBEAMENTO PARA A CISTERNA DA DRAGA.

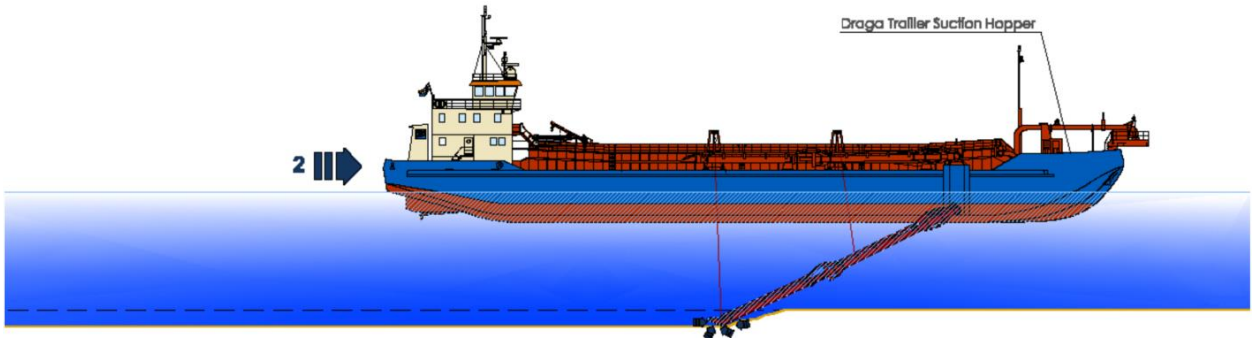


FIGURA 122 – FASE 3: APÓS ATINGIDA A CAPACIDADE MÁXIMA DA CISTERNA (OU CALADO MÁXIMO), TRANSPORTE ATÉ O TRECHO DE PRAIA A SER ENGORDADO.

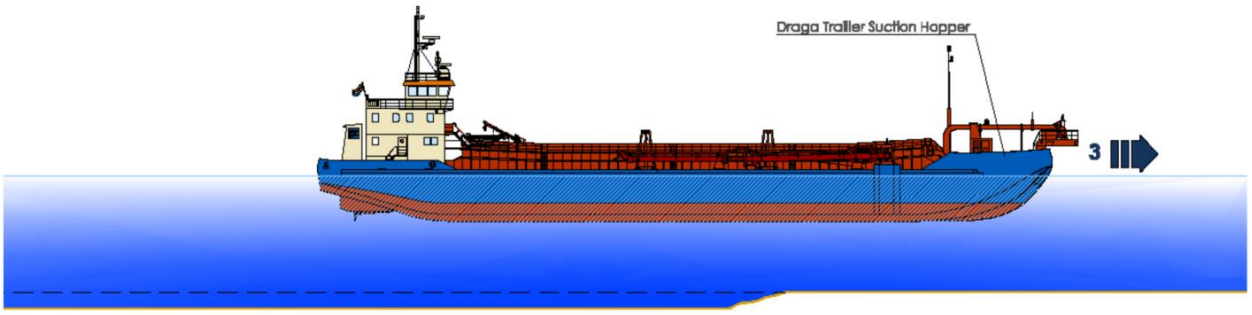


FIGURA 123 – FASE 4: POSICIONAMENTO DA DRAGA, ACOPLAMENTO DA LINHA DE RECALQUE E BOMBEAMENTO DA MISTURA (ÁGUA+SEDIMENTOS) ATÉ A FAIXA DE PRAIA.

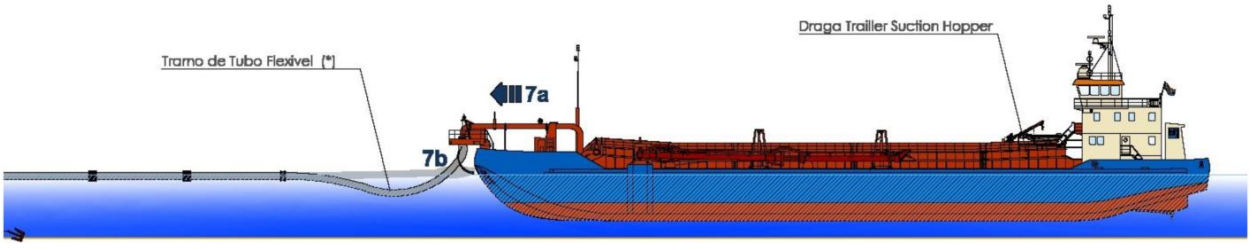
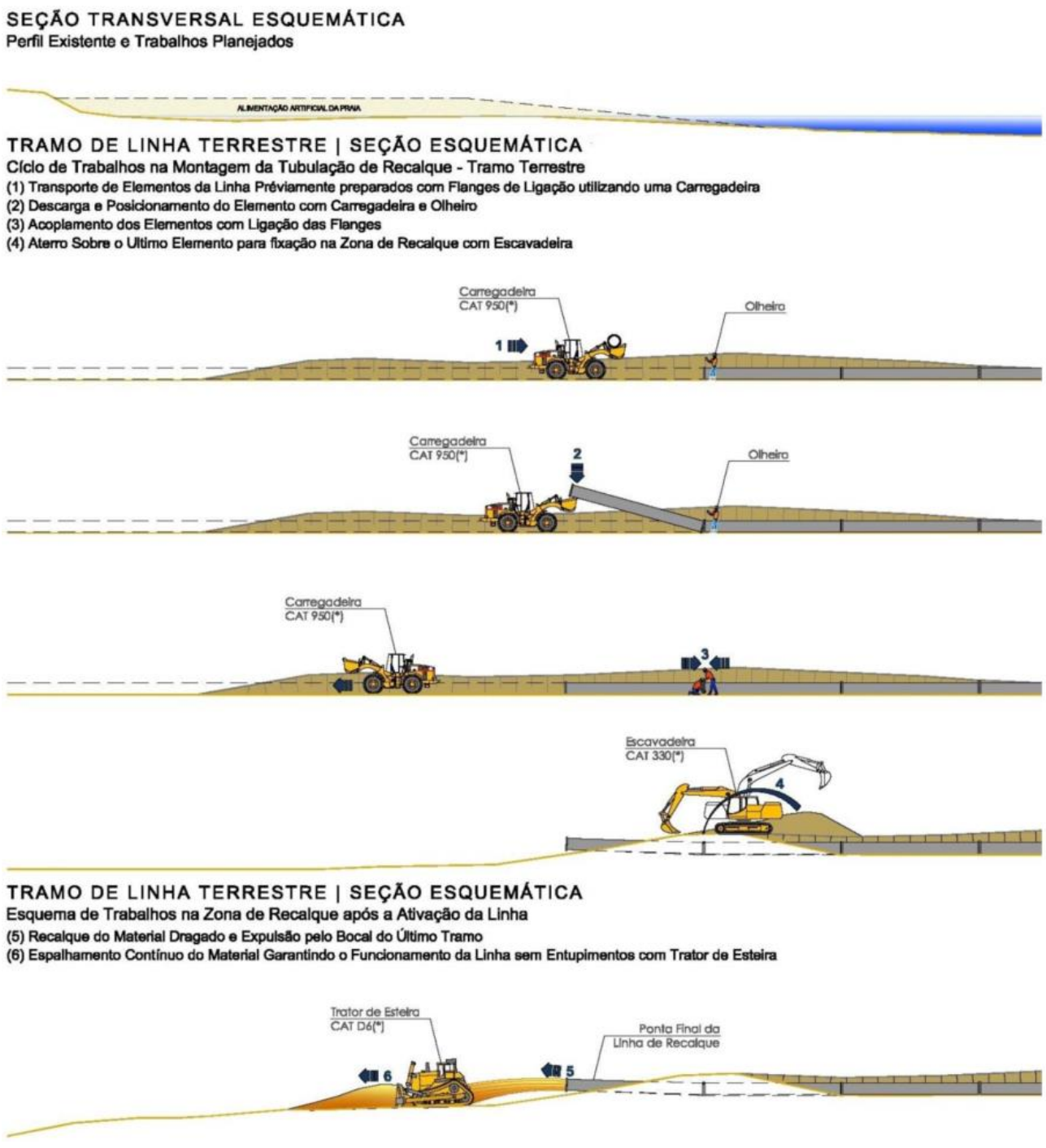


FIGURA 124 – FASE 5: SERVIÇOS EM TERRA DE MONTAGEM DA LINHA DE RECALQUE E ESPALHAMENTO DOS SEDIMENTOS.



À medida que é feito o lançamento de areia na praia, os equipamentos de terra fazem o espalhamento da areia que se vai acumulando na frente do espalhador da tubulação de transporte. Nesta operação, a escavadeira tem um papel importante, visto que remove também os inertes da zona de descarga, de forma a não causar obstrução no espalhador.

Assim, a plataforma vai sendo criada e a tubulação de terra vai sendo acoplada e acrescentada ao longo da praia. A partir de um determinado comprimento de tubulação já não é recomendável acrescentar mais tubos devido às elevadas perdas de rendimento hidráulico. Neste momento é necessário deslocar a linha submersa para a seguinte frente de trabalho. Este serviço de deslocamento da linha submersa é bastante meticuloso, principalmente numa área com forte arrebentação.

O processo inicia-se pela operação de recolocar a linha em suspensão, através do seu enchimento com ar comprimido, deslocamento da mesma, com a intervenção da draga e das máquinas de terra, reposicionamento e afundamento. Nesta nova posição, inicia-se uma repetição da sequência já descrita, caminhando com a plataforma até ao final.

Todo o processo de construção das linhas aquática e terrestre (soldaduras e flanges) e de colocação na água, movimentação ao longo da praia, são trabalhos de elevada complexidade técnica, a serem executados por técnicos da empresa de dragagem, com comprovação de terem executado serviços de engordas similares.

Algumas etapas podem ser feitas por terceirizados, mas sempre coordenados pela empresa de dragagem, de forma que não falhe nenhum pequeno detalhe, que poderá colocar em risco toda a operação.

Na FIGURA 124, é possível ver esquematicamente as operações de instalação da tubulação, recalque da polpa de areia e o espalhamento dos sedimentos na plataforma da praia.

11.3.2 Premissas Executivas

Conforme referido anteriormente, a draga recomendada para executar o serviço é uma TSHD com 6.000 m³, ou superior. Em função da granulometria dos sedimentos, predominantemente fina, não é recomendável atuar na capacidade máxima, limitando a 85% o volume operacional da cisterna. Desta forma, evita-se gasto excessivo de tempo com o transbordamento do excesso de água. Considerando que o esgotamento completo da cisterna também incorre em demoras que reduzem a produtividade, considera-se que 5% dos sedimentos dragados permanecerão na cisterna. Assim sendo, a draga opera, em um tempo de ciclo ótimo, com cerca de 80% da capacidade em volume.

Entre os fatores que afetam a produtividade, estão:

a) Empolamento: estima-se que após desagregado o sedimento ocupe um volume maior na cisterna, estimado em 20%;

b) Perdas locais: o percentual de areia bombeado que é devolvido ao mar devido ao próprio fluxo da polpa e ao *overflow* é estimado em 20%;
c) Tempo de acoplamento à linha de recalque: 20 min;
d) Tempo de desacoplamento à linha de recalque: 5 min;
e) Paradas para manutenção, abastecimento e trocas de equipamento desgastado: estimado como sendo 10% do tempo total de dragagem;
f) Movimentação das linhas de recalque: estima-se que sejam necessários 30 dias para mover a linha entre posições sucessivas;
g) Trabalhabilidade: é afetada pelas condições do mar, sobretudo altura e período das ondas. Estimada em 15% do tempo de dragagem.

Considerando as premissas relatadas acima, o prazo total previsto para as obras de dragagem e engordamento das praias é de aproximadamente 4 meses.

12 EQUIPAMENTOS

O QUADRO 24 apresenta o quantitativo de equipamentos previstos para as obras marítimas.

QUADRO 24 – QUANTITATIVO DE EQUIPAMENTOS PREVISTOS PARA AS OBRAS MARÍTIMAS.

Quantd	Equipamento
1	Caminhão basculante 14 m³, com cavalo mecânico de capacidade máxima de tração combinado de 36000 kg, potência 286 cv, inclusive semireboque com caçamba metálica
46	Caminhão basculante 18 m³, com cavalo mecânico de capacidade máxima de tração combinado de 45000 kg, potência 330 cv, inclusive semireboque com caçamba metálica
1	Caminhão basculante 6 m³ toco, peso bruto total 16.000 kg, carga útil máxima 11.130 kg, distância entre eixos 5,36 m, potência 185 cv, inclusive caçamba metálica
2	Caminhão basculante com capacidade de 10 m³ - 210 kW
18	Caminhão basculante com capacidade de 14 m³ - 210 kW
1	Caminhão basculante com capacidade de 6 m³ - 136 kW
3	Caminhão basculante para rocha com capacidade de 12 m³ - 188 kW
8	Caminhão betoneira com capacidade de 8 m³ - 188 kW
7	Caminhão carroceria com capacidade de 15 t - 188 kW
1	Caminhão carroceria com guindauto com capacidade de 20 t.m - 136 kW
1	Caminhão pipa 10.000 l trucado, peso bruto total 23.000 kg, carga útil máxima 15.935 kg, distância entre eixos 4,8 m, potência 230 cv, inclusive tanque de aço para transporte de água
1	Caminhão toco, pbt 14.300 kg, carga útil máx. 9.710 kg, dist. entre eixos 3,56 m, potência 185 cv, inclusive carroceria fixa aberta de madeira p/ transporte geral de carga seca, dimen. aprox. 2,50 x 6,50 x 0,50 m
2	Caminhão toco, pbt 16.000 kg, carga útil máx. 10.685 kg, dist. entre eixos 4,8 m, potência 189 cv, inclusive carroceria fixa aberta de madeira p/ transporte geral de carga seca, dimen. aprox. 2,5 x 7,00 x 0,50 m
1	Caminhão toco, peso bruto total 14.300 kg, carga útil máxima 9590 kg, distância entre eixos 4,76 m, potência 185 cv (não inclui carroceria)
1	Carregadeira de pneus com capacidade de 1,72 m³ - 113 kW
12	Carregadeira de pneus com capacidade de 3,40 m³ - 195 kW
1	Carregadeira de pneus para rocha com capacidade de 1,72 m³ - 113 kW
4	Cavalo mecânico com semirreboque com capacidade de 30 t - 265 kW
1	Compactador de solos de percusão (soquete) com motor a gasolina, potência 3 cv
1	Compactador de solos de percussão (soquete) com motor a gasolina 4 tempos, potência 4 cv
15	Compressor de ar rebocável, vazão 89 pcm, pressão efetiva de trabalho 102 psi, motor diesel, potência 20 cv
1	Draga de sucção e recalque com potência da bomba de 294 kW e cortador de 30 kW
1	Draga hopper com cisterna de 6.000 m³ e motor 2x 2985 kW
2	Embarcação de transporte de pessoal e apoio logístico - 90 kW
1	Embarcação empurradora multipropósito com guindaste hidráulico de 74 kN.m - 165 kW
2	Escavadeira hidráulica sobre esteiras com caçamba com capacidade de 1,56 m³ - 118 kW
1	Escavadeira hidráulica sobre esteiras, caçamba 0,80 m³, peso operacional 17 t, potência bruta 111 hp
5	Guindaste hidráulico autopropelido, com lança telescópica 40 m, capacidade máxima 60 t, potência 260 kW
2	Guindaste móvel sobre esteiras com capacidade de 40 t - 186 kW
7	Guindaste móvel sobre esteiras com pinça com capacidade de 40 t - 186 kW

Quantd	Equipamento
2	Guindauto hidráulico, capacidade máxima de carga 6200 kg, momento máximo de carga 11,7 tm, alcance máximo horizontal 9,70 m, inclusive caminhão toco pbt 16.000 kg, potência de 189 cv
1	Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 hp, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m
2	Pá carregadeira sobre rodas, potência 197 hp, capacidade da caçamba 2,5 a 3,5 m³, peso operacional 18338 kg
5	Pá carregadeira sobre rodas, potência líquida 128 hp, capacidade da caçamba 1,7 a 2,8 m³, peso operacional 11632 kg
2	Pórtico metálico rolante com capacidade de 25 t - 30 kW
1	Retroescavadeira sobre rodas com carregadeira, tração 4x4, potência líq. 88 hp, caçamba carreg. cap. mín. 1 m³, caçamba retro cap. 0,26 m³, peso operacional mín. 6.674 kg, profundidade escavação máx. 4,37 m
1	Trator de esteiras, potência 100 hp, peso operacional 9,4 t, com lâmina 2,19 m³
1	Trator de esteiras, potência 125 hp, peso operacional 12,9 t, com lâmina 2,7 m³
11	Trator de esteiras, potência 150 hp, peso operacional 16,7 t, com roda motriz elevada e lâmina 3,18 m³
4	Treliça lançadeira com capacidade de carga de 100 a 120 t e vão máximo de 45 m - 110 kW

13 MÃO DE OBRA

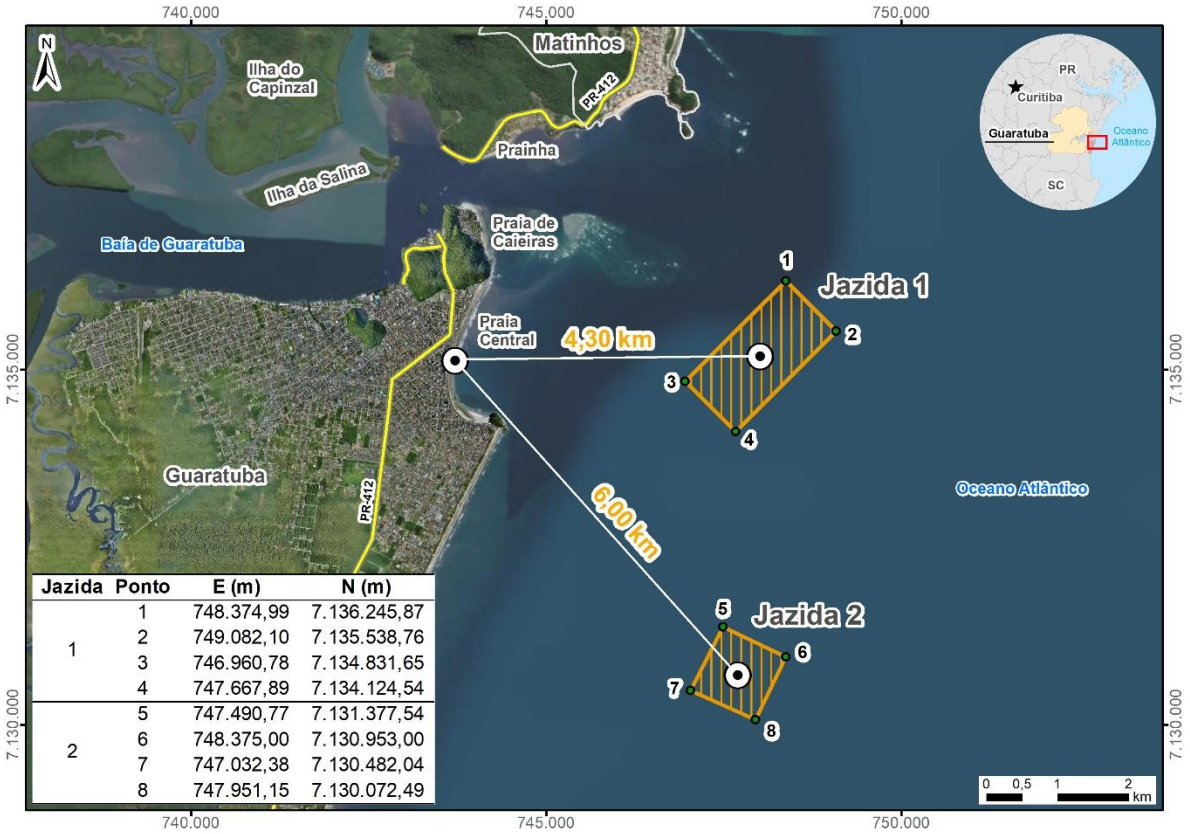
O quantitativo de trabalhadores previstos para a execução das obras marítimas é listado a seguir. Destaca-se que no mês de pico das obras marítimas haverá em torno de 247 funcionários trabalhando concomitantemente.

- 7 Ajudante
- 6 Armador
- 2 Auxiliar de eletricista com encargos complementares
- 1 Carpinteiro
- 2 Comandante
- 4 Condutor de máquinas (CDM)
- 2 Cozinheiro
- 6 Draguista
- 5 Eletricista
- 2 Engenheiro responsável
- 10 Marinheiro de convés (MNC)
- 6 Marinheiro de máquinas (MNM)
- 4 Mestre de Cabotagem (MCB)
- 2 MCB Imediato
- 4 Mecânico
- 11 Mergulhador raso auxiliar de superfície
- 45 Montador
- 87 Motoristas de caminhão
- 2 Oficial de máquinas
- 3 Pedreiro
- 1 Serralheiro
- 24 Servente
- 5 Soldador
- 1 Supervisor de mergulho raso
- 2 Supervisor geral
- 2 Taifeiro
- 1 Topógrafo
- **247 TOTAL**

14 JAZIDAS DE AREIA E PEDREIRAS

Foram identificadas duas potenciais jazidas marítimas para o fornecimento de sedimentos arenosos para o engordamento das praias de Guaratuba. Ambas estão localizadas no Oceano Atlântico, sendo a Área 1 (Declaração de Dispensa de Título Minerário – DDTM apresentada no Anexo 10) a aproximadamente 4 km da Orla Central e a Área 2 (DDTM apresentada no Anexo 11) a 6 km da Orla Central, conforme ilustrado na FIGURA 125. Os sedimentos dragados nestas áreas de empréstimo serão destinados à recomposição da faixa de areia das praias Central, Caieiras e Prainha. A jazida da Área 1 tem 2,0 km² e a jazida da Área 2 tem 1,0 km².

FIGURA 125 – LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE EMPRÉSTIMO DE AREIA PARA AS OBRAS DE ENGORDAMENTO.



Jazida	Ponto	E (m)	N (m)
1	1	748.374,99	7.136.245,87
	2	749.082,10	7.135.538,76
	3	746.960,78	7.134.831,65
	4	747.667,89	7.134.124,54
2	5	747.490,77	7.131.377,54
	6	748.375,00	7.130.953,00
	7	747.032,38	7.130.482,04
	8	747.951,15	7.130.072,49

Levantamentos realizados em fevereiro/2025 e abril/2025 indicaram profundidades no local das jazidas da ordem de 11 m (Área 1) a 13 m (Área 2). As amostras de sedimentos coletadas no local foram submetidas a análise laboratorial para avaliação das frações granulométricas.

A Área 1 possui extensos depósitos de sedimentos que envolvem argilas/lamas, areia fina, média e grosseira, além de raros volumes de pedregulhos. Os depósitos de areia

fina são predominantes sobre as outras granulometrias de areia, mas se encontram parcialmente impactados pelo recobrimento de lamas, transportadas pelo rio São João que ocorrem especialmente no quadrante noroeste.

Na Área 2, foram amostrados quatro pontos (vértices da área delimitada), os quais indicaram espessuras e amostras de areia fina, exceto em uma única amostra, aquela mais ao norte, onde foi constado um certo teor de argilas (sem lama).

Assim, ambas as áreas de jazidas se revelam plenamente viáveis à extração de areias, desde que considerando as recomendações para se evitar as áreas onde os depósitos lamosos recobrem os bancos de areia (noroeste da Área 1). A presença das frações de areia média, fina e muito fina indicam compatibilidade com as faixas de praia que receberão o engordamento.

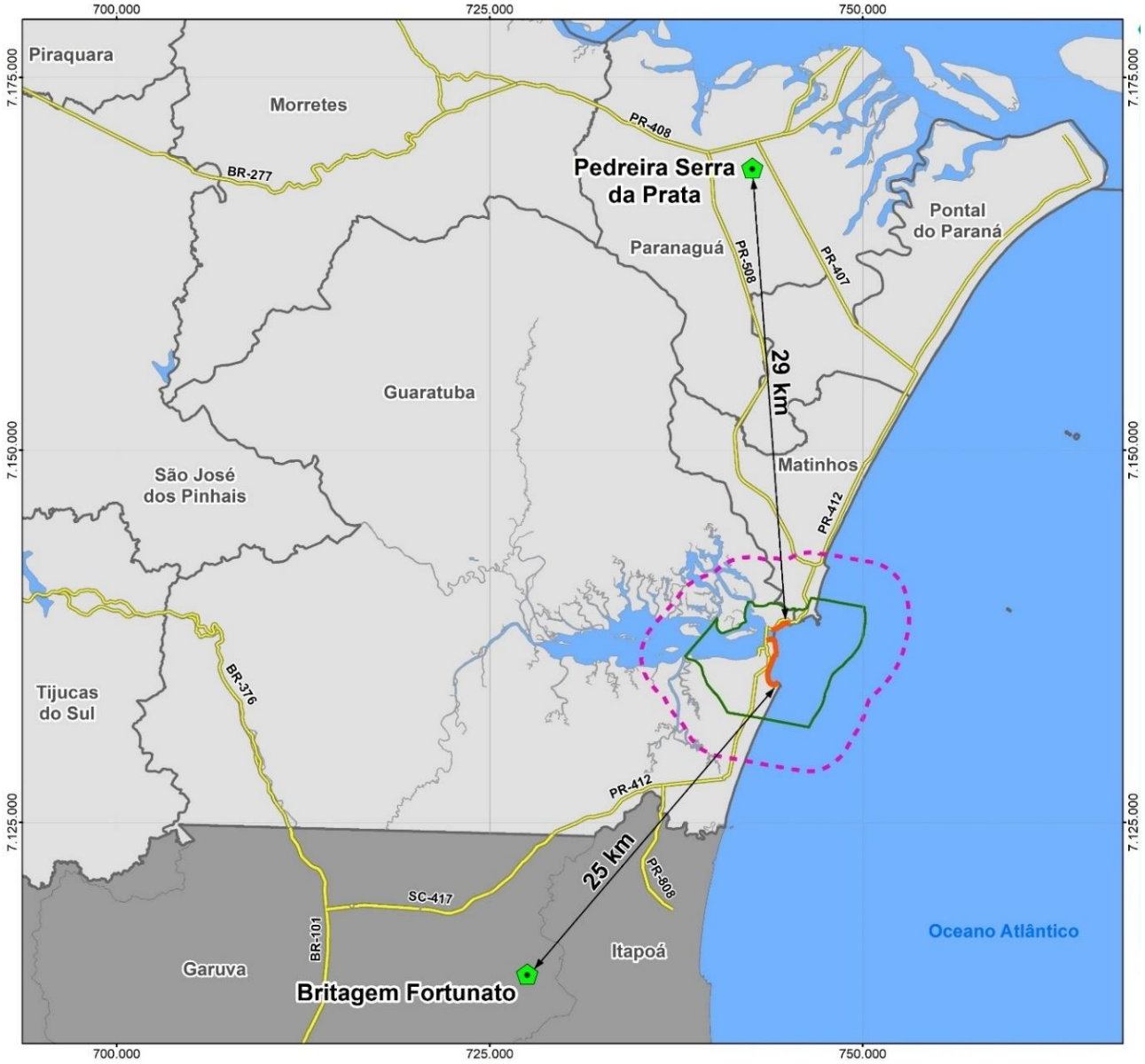
Considerando a extensão das áreas das jazidas, a espessura de dragagem não deve ultrapassar 1 m, já que este cenário representaria um volume de aproximadamente 3,0 milhões de m³ de sedimentos, enquanto o projeto indica um volume necessário de aproximadamente 1,3 milhão de m³.

Para o fornecimento de pedras para as obras de enrocamentos nas estruturas semirrígidas, foram identificadas duas opções de pedreiras (FIGURA 126):

1) Pedreira Serra da Prata: Estr. das Colônias, 1000 - Jardim Esperança, Paranaguá/PR, 83218-190; e
2) Britagem Fortunato: SC-416, Garuva/SC, CEP: 89248-000.

A Pedreira Serra da Prata localiza-se a 43 km por via rodoviária até a Prainha de Guaratuba. A Britagem Fortunato localiza-se a 34 km por via rodoviária até a Orla Central de Guaratuba.

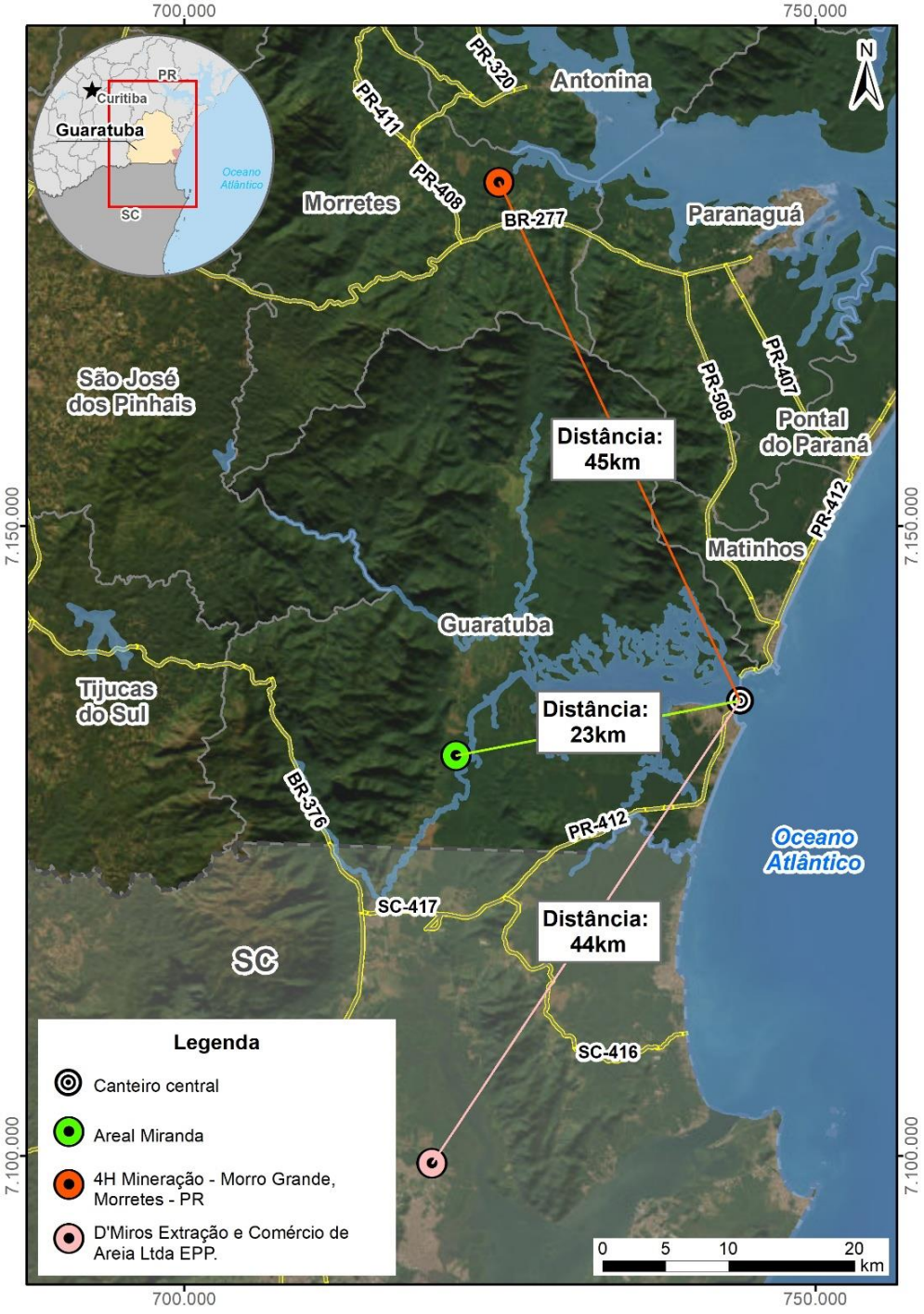
FIGURA 126 – LOCALIZAÇÃO DAS PEDREIRAS MAIS PRÓXIMAS AO EMPREENDIMENTO.



Para o fornecimento de areia para as obras urbanísticas, foram identificadas três opções de jazidas comerciais (FIGURA 127):

1) Areal Miranda: Pedra Branca do Araraquara, Guaratuba - Paraná, CEP: 83280-000;
2) 4H Mineração: Km 32 - Morro Grande, Morretes - PR, CEP: 83350-000; e
3) D'Miros Extração e Comércio de Areia Ltda EPP: Estrada Timbé, 9350 - Timbé, Joinville - SC, CEP: 89226-500.

FIGURA 127 – LOCALIZAÇÃO DOS AREAIS MAIS PRÓXIMOS AO EMPREENDIMENTO.



O Areal Miranda: Pedra Branca do Araraquara localiza-se a 54 km por via rodoviária até a Praia Central de Guaratuba. O 4H Mineração localiza-se a 58 km por via rodoviária até a Prainha de Guaratuba. O D'Miros Extração e Comércio de Areia Ltda EPP localiza-se a 77 km por via rodoviária até a Praia Central de Guaratuba.

15 CRONOGRAMA

O prazo total previsto para a execução das obras marítimas é de 14 meses, sendo 1 mês para mobilização, 11 meses para a execução das estruturas semirrígidas (espigões, *headlands* e guias-correntes), 4 meses para a dragagem e engordamento das praias e 1 mês para desmobilização. O cronograma resumido previsto é indicado no QUADRO 25.

QUADRO 25 – CRONOGRAMA DAS OBRAS MARÍTIMAS.

Etapa	Mês													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mobilização														
Estruturas Marítimas														
Dragagem e Engordamento														
Desmobilização														

O cronograma detalhado com todas as etapas construtivas das diferentes fases do empreendimento é apresentado em volume à parte deste relatório, na pasta intitulada “Orçamento”, planilha excel denominada “Cronograma Físico-Financeiro”.

16 ORÇAMENTO

As composições de custos para a execução das obras marítimas (engordamento + estruturas semirrígidas) foram desenvolvidas utilizando como base pesquisas de mercado e custos referenciais provenientes: 1) do Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT); e 2) do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), da Caixa Econômica Federal. Os custos provenientes do SICRO Referenciais de Obras (SICRO) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), data base de julho de 2025. Os custos provenientes do SINAPI são referentes ao Estado do Paraná, data base de outubro de 2025.

Para a composição dos custos de mão de obra, foram adotadas duas equipes de trabalho para a categoria “marítimos”, com turnos de 12 horas cada. Para os outros serviços foram adotados turnos de 8 horas por dia.

O detalhamento do orçamento das intervenções propostas é apresentado em volume à parte deste relatório, na pasta intitulada Orçamento, incluindo arquivos com as seguintes informações:

- Orçamento Analítico;
- Orçamento Sintético;
- Serviços Técnicos;
- Cronograma Físico-Financeiro;
- Curva ABC de Insumos;
- Curva ABC de Serviços;
- Curva S Geral;
- Detalhamento das Composições Unitárias;
- Histograma de Insumos.

17 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Relatório constitui o Memorial Descritivo do Anteprojeto de Engenharia das Obras Marítimas para a Recuperação da Orla de Guaratuba/PR, contemplando três praias: Praia Central, Caieiras e Prainha. Neste volume, consta o dimensionamento das obras marítimas propostas, a saber: 1) engordamento artificial das praias (ampliação da faixa de areia); e 2) estruturas semirrígidas, tais como espigões, *headlands* e guias-correntes.

Essas obras são fundamentais para combater o fenômeno de erosão costeira que afeta as praias de Guaratuba. A progressiva intensificação da erosão das praias, por influência de ondas e correntes, tem reduzido os estoques disponíveis de areia, colocando em risco a infraestrutura existente na orla e a população (moradores e turistas). Para mitigar esse problema, é proposta a ampliação da faixa de areia através do bombeamento de sedimentos provenientes de uma jazida marinha localizada a aproximadamente 5 km da Praia Central de Guaratuba. Espigões e *headlands* foram dimensionados com o objetivo de auxiliar na fixação da areia na praia, aumentando a vida útil das obras de engordamento. Nos pontos de deságue, foram projetados guias-correntes, a serem interligados com os dispositivos de drenagem urbana, facilitando o escoamento das águas da cidade em direção ao mar.

Em caso de não execução do empreendimento, prevê-se que tanto a erosão costeira, quanto a degradação dos ecossistemas e a redução da qualidade da água sigam evoluindo. Em relação ao meio socioeconômico, a não realização das obras pode causar perda da atratividade turística, danos às infraestruturas costeiras, deslocamento de populações e perda de patrimônio natural e cultural.

Assim, a implantação das obras é fundamental para assegurar a sustentabilidade e a resiliência da região, promovendo benefícios a longo prazo para a economia, o meio ambiente e a qualidade de vida dos moradores e visitantes.

REFERÊNCIAS

BESLEY, P. (1999). Overtopping of seawalls – design and assessment manual. R & D Technical Report W 178, Environment Agency, Bristol, ISBN 1 85705 069 X.

BOSKALIS (2018). Dredging Management Plan. Doc. No: 554-10023-02-04. Disponível em: https://www.lpc.co.nz/wp-content/uploads/2020/04/Dredging_Management_Plan.pdf Acesso em: dezembro 2024.

CEM (2006). Coastal Engineering Manual. Department of the Army, U. S. Army Corps of Engineers, Washington D.C.

CERC (1984). Coastal Engineering Research Center. Shore Protection Manual vol. 1. Vicksburg, Mississippi 39180.

EUROTOP (2007). Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual. Disponível em: https://kennisbank-waterbouw.nl/DesignCodes/EurOtop.pdf Acesso em: janeiro, 2025.

FOLK, R.L; WARD, W.C. (1957) A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27, 3-26.

GODA, Y. (1985), "Random seas and design of maritime structures", Univ. of Tokyo Press, 323 pp.

HUESKER. (2025). Cotações e especificações técnicas para o fornecimento de geoformas têxteis de alta densidade para a composição dos núcleos das estruturas semirrígidas.

IAT (2020). Projeto para Recuperação da Orla de Matinhos. Capítulo 1 – Estruturas Marítimas e Engordamento. Julho, 2020.

IAT (2022). Notícia: “Começam a ser instaladas as peças de concreto que vão preservar a orla de Matinhos”. Disponível em: https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Comecam-ser-instaladas-pecas-de-concreto-que-vao-preservar-orla-de-Matinhos Acesso em: dezembro, 2024.

IPCC (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.

IPCC (2022). Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 755 pp. https://doi.org/10.1017/9781009157964.

JAN DE NUL (2011). Apresentação: “Desarrollo Sostenible en Puertos de América Latina y el Caribe”. Congreso AAPA, Lima, Peru, junho/2011. Disponível em: https://aapa.files.cms-plus.com/PDFs/Tom_Degrieck.pdf Acesso em: dezembro, 2024.

KAMPHUIS J. W. (1996). Experiments on Design Wave Height in Shallow Water. Chapter 18. Coastal Engineering.

KAMPHUIS, J. W. (1991). Incipient wave breaking. Coastal Engineering, v. 15, n. 3, p. 185–203, jun. 1991.

MARINHA DO BRASIL (2024). Tábua de Marés, Barra de Paranaguá – Canal da Galheta – 2024. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare-4 Acesso em: dezembro, 2024.

MUNK, W.H. (1949). The solitary wave theory and its application to surf problems. Annals of the New York Academy of Sciences, 51. Disponível em: https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1949.tb27281.x

PDS-LITORAL (2019). Plano de Desenvolvimento Sustentável do Litoral do Paraná. Volume 3 – Aspectos Ambientais. Governo do Paraná et al. Curitiba-PR.

RAKHA, K.A. (1995). A numerical and physical study of beach evolution near a seawall, Ph.D. Thesis, Queen's University.

SMC-BRASIL (2018). Projeto SMS-Brasil, Sistema de Modelagem Costeira. Níveis e Cota de Inundação: documento temático. Disponível em: https://smcbrasil.paginas.ufsc.br/files/2018/06/Documento-Tem%C3%A1tico-de-N%C3%ADveis-e-CI.pdf Acesso em: dezembro, 2024.

SONTEK (2016). RiverSurveyor S5 and M9 System Manual, Firmware Version 4.02. San Diego, USA.

USACE (1984). Shore Protection Manual. Volume II. Prepared for Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314.

USACE (1986). Shore protection manual (SPM), 4th ed., Vols I and II, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center. Available from Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.

USACE (1995). Design of coastal revetments, seawalls, and bulkheads. Imprint: Washington, D.C.: Dept. of the Army, Corps of Engineers.

USACE (2008). Coastal Engineering Manual: Part V – Coastal Project Planning and Design. U.S. Army Corps of Engineers. EM 1110-2-1100. Washington, D.C.

USACE (2012). Coastal Engineering Manual Part II: Coastal Hydrodynamics (EM 1110-2-1100), US Army Corps of Engineers. Acesso em: mar. 2024.

WENTWORTH, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. The Journal of Geology, v. 30, n. 5, p. 377-392.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. Marine Geology, v. 56, n. 1-4, p. 93-118.

ANEXOS

ANEXO 1 – AUTORIZAÇÃO Nº 112/24 – MARINHA DO BRASIL

ANEXO 2 – FICHA MAREGRÁFICA F-41 Nº 60100 (GUARATUBA IATE CLUBE)

ANEXO 3 – MONOGRAFIAS DAS BASES GEODÉSICAS

ANEXO 4 – PLANTAS DE BATIMETRIA E TOPOGRAFIA

ANEXO 5 – PERFIS DE PRAIA (ATUAL E PROJETADO)

ANEXO 6 – RELATÓRIO DE PESQUISA MINERAL DE AREIA NO LEITO OCEÂNICO

ANEXO 7 – COEFICIENTE DE REFRAÇÃO DA ONDA

A refração ocorre quando uma onda se aproxima da costa em um ângulo e é influenciada pelas curvas do leito marinho. Parte da onda entra em águas rasas antes do restante, desacelerando e mudando a direção da onda.

A alteração de direção influencia na altura da onda, que pode ser determinada em função de um coeficiente de refração (Kr). Da mesma forma que o coeficiente de empolamento, a determinação de Kr não depende da altura da onda, portanto, os cálculos podem ser realizados com base nas características de uma onda unitária em águas profundas e aplicado para outras profundidades. A mudança do ângulo de direção pode ser determinada com a Lei de Snell, sendo C a celeridade da onda (m/s) e α o ângulo entre o ângulo de incidência (θ) e a normal da linha de contorno.

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$$

O coeficiente de refração pode ser determinado com base na equação:

$$Kr = \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2}}$$

A batimetria está referenciada ao nível médio dos mares (NM), sendo que as alterações no leito mais relevantes acontecem da cota 4m até 0m. A análise de amplitude de maré apresentou que o nível máximo pode atingir até 2m acima do NM (desconsiderando a elevação futura do NM). Com essa condição, avaliou-se o efeito de refração com o nível de água máximo. Também foram considerados a indução de duas ondulações diferentes, sendo cada uma com características definidas abaixo.

Ondulação	Leste	Sudeste
H0 (m)	2,51	3,02
T0 (s)	8,67	9,11

Os locais com efeitos de refração mais relevantes são as subdivisões sub1 e sub2. Considerando a variação do ângulo de incidência dentro das direções, os valores do coeficiente de refração para zonas como a sub3 ficam muito próximas a 1, podendo ser desconsideradas. Para zona sub4, as ondulações incidentes de sudeste sofrem efeitos de refração, entretanto as provindas de leste são afetadas pela barra da desembocadura da Baia de Guaratuba. Outras zonas como sub4, sub5 e sub6, também apresentam a proteção do banco de areia (barra) da desembocadura.

Os quadros abaixo apresentam os parâmetros utilizados para determinação do coeficiente de refração para diferentes profundidades, para as subdivisões sub1, sub2 e sub4 da linha de costa.

Zona Sub1	Sudeste			Leste		
Parâmetros	Curva batimétrica			Curva batimétrica		
Cota Leito (NM)	0	2	4	0	2	4
Nível d'água (m)	2	4	6	2	4	6
C1	6,14	7,40	13,96	6,12	13,30	13,30
C2	4,40	6,14	7,40	4,39	6,12	7,36
θ1	49	91	113	51	68	68
α1	66	36	45	27	40	0
α2	17	42	22	19	17	0
θ2	32	49	91	32	51	68
Kr	0,76	0,78	0,87	0,86	0,89	1,00

Zona Sub2	Sudeste			Leste		
Parâmetros	Curva batimétrica			Curva batimétrica		
Cota Leito (NM)	0	2	4	0	2	4
Nível d'água (m)	2	4	6	2	4	6
C1	6,14	13,96	13,96	6,12	13,30	13,30
C2	4,40	6,14	7,40	4,39	6,12	7,36
θ1	103	113	113	58	68	68
α1	11	24	0	30	21	0
α2	8	10	0	21	10	0
θ2	95	103	113	37	58	68
Kr	0,96	0,96	1,00	0,94	0,97	1,00

Zona Sub4	Sudeste			Leste		
Parâmetros	Curva batimétrica			Curva batimétrica		
Cota Leito (NM)	0	2	4	-	-	-
Nível d'água (m)	2	4	6	-	-	-
C1	6,14	13,96	13,96	-	-	-
C2	4,40	6,14	7,40	-	-	-
θ1	103	113	113	-	-	-
α1	14	24	0	-	-	-
α2	10	10	0	-	-	-
θ2	93	103	113	-	-	-
Kr	0,96	0,96	1,00	-	-	-

ANEXO 8 – COEFICIENTE DE DIFRAÇÃO DA ONDA

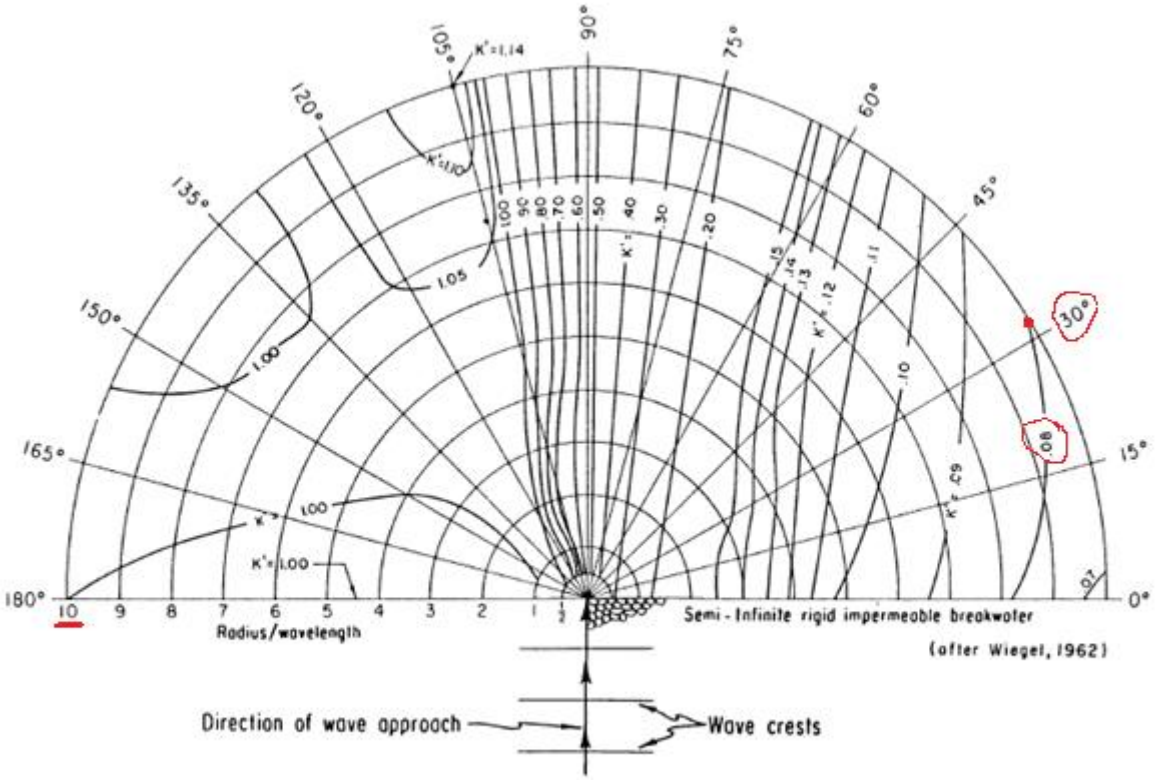


Figure 2-33. Wave diffraction diagram--90° wave angle.

ANEXO 9 – ÍNDICE DE QUEBRA DA ONDA

Para avaliação das condições de quebra da onda foram desenvolvidos modelos paramétricos com base no índice de quebra da onda índice de quebra (γ_b), conforme a equação:

$$\gamma_b = \frac{H_b}{d_b}$$

O índice é um parâmetro livre do modelo que essencialmente controla a quantidade de dissipação de energia devido à quebra das ondas em diferentes locais transversais à costa. Na prática, γ_b é geralmente calibrado no modelo para reproduzir a altura média a altura significativa das ondas (Hs) ou a altura máxima (Hmáx) (APOTSOS et al., 2008).

Ao longo do tempo foram desenvolvidas metodologias que consideram o valor de γ_b constante ao longo da costa e outras que descrevem o índice de quebra em função de outras características como a inclinação da onda em águas profundas ($s_0 = H_0/L_0$), a profundidade normalizada da água local (*kh*, onde *k* e *h* são o número de onda local e a profundidade da água) ou a inclinação do leito local (m).

Algumas metodologias, como por exemplo Goda (1970), utilizam outros dois índices, sendo um denominado índice de altura de quebra de onda (γ_{Hb}), que correlaciona a altura de quebra de onda (Hb) com a altura equivalente de onda significativa em águas profundas (H_0'). O segundo índice é denominado índice de profundidade de quebra de onda (γ_{db}), sendo o inverso do índice de quebra da onda ($\frac{d_b}{H_b}$). A altura equivalente de onda significativa em águas profundas (H'_0) está relacionada à altura de onda significativa em águas profundas (H_0) conforme a equação:

$$H_0' = Kr * Kd * H_0$$

Onde Kr é o coeficiente de refração e Kd é o coeficiente de difração da onda.

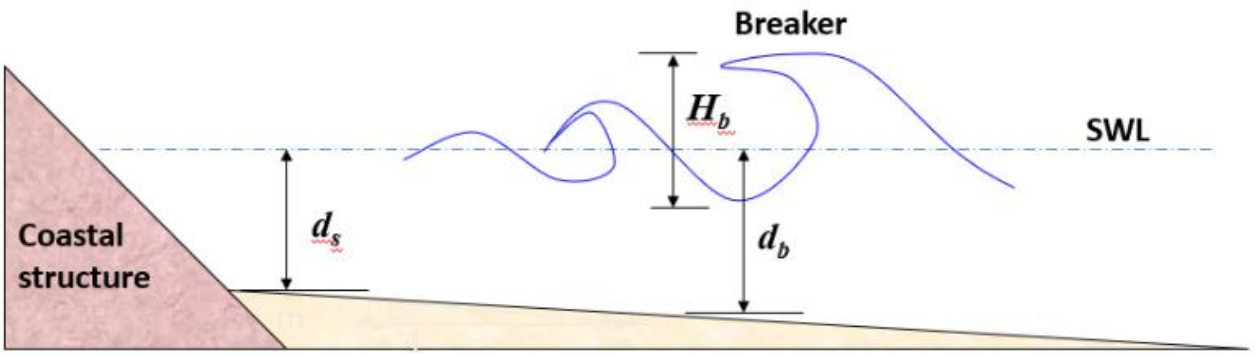
Modelos existentes de transformação de ondas aleatórias calculam a dissipação de energia devido à quebra das ondas usando a abordagem da probabilidade de quebra. Esses modelos empregam uma distribuição de probabilidade específica das alturas das ondas aleatórias e, em uma profundidade da água específica (h), estimam a perda fracional de energia das ondas que excedem uma altura de limiar

A altura equivalente de onda significativa em águas profundas está relacionada à altura de onda significativa em águas profundas da seguinte forma e é usada no método de quebra de ondas de Goda:

Onde Ho' é a altura equivalente de onda significativa em águas profundas. Ho é a altura de onda significativa em águas profundas. Kr é o coeficiente de refração de ondas

aleatórias. Kf é o coeficiente de atenuação de ondas aleatórias devido ao atrito no fundo. Kd é o coeficiente de difração de ondas aleatórias.

A fórmula acima implica que a altura da onda em águas profundas é ajustada para considerar a mudança devido à refração, difração e atenuação de ondas aleatórias devido ao atrito no fundo. O efeito de emplamento não está incluído na avaliação de Ho'.



Sendo $H_{mo,b} = 0{,}1\ L_b\ \tanh(kd_b)$ e $k = \frac{2\pi}{CT}$.

ANEXO 10 – DECLARAÇÃO DE DISPENSA DE TÍTULO MINERÁRIO Nº 01/2025

ANEXO 11 – DECLARAÇÃO DE DISPENSA DE TÍTULO MINERÁRIO Nº 02/2025