

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AMBIENTAL**

Anna Luiza Pacheco Dalbosco

**ANÁLISE HISTÓRICA DA LINHA DE COSTA E DOS PADRÕES  
HIDRODINÂMICOS E DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DA  
PRAIA DA ARMAÇÃO, ILHA DE SANTA CATARINA – SC**

Dissertação submetida ao Programa de Pós  
Graduação em Engenharia Ambiental da  
Universidade Federal de Santa Catarina para  
obtenção do Grau de Mestre em Engenharia  
Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Davide Franco.  
Co-orientador: Dr. Rodrigo Barletta.

Florianópolis

2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dalbosco, Anna Luiza Pacheco  
ANÁLISE HISTÓRICA DA LINHA DE COSTA E DOS PADRÕES  
HIDRODINÂMICOS E DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DA PRAIA DA  
ARMAÇÃO, ILHA DE SANTA CATARINA ? SC / Anna Luiza Pacheco  
Dalbosco ; orientador, Davide Franco ; co-orientador,  
Rodrigo do Carmo Barletta. - Florianópolis, SC, 2013.  
209 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Praia da Armacao. 3. Erosao  
Costeira. 4. Modelagem de ondas, correntes e transporte de  
sedimentos. I. Franco, Davide . II. Barletta, Rodrigo do  
Carmo. III. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

Anna Luiza Pacheco Dalbosco

**ANÁLISE HISTÓRICA DA LINHA DE COSTA E DOS PADRÕES  
HIDRODINÂMICOS E DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS DA  
PRAIA DA ARMAÇÃO, ILHA DE SANTA CATARINA – SC**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de “Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental.

Florianópolis, 27 de novembro de 2013.

Prof. Dr. William Gerson Matias  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Davide Franco  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr. Rodrigo Barletta  
Co-orientador

Prof. Dr. Nadia Bonuma  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Alexandra Finotti  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Marco Romeu Rígola  
Universidade Federal do Rio Grande



## AGRADECIMENTOS

Ao professor Massato Kobiyama e Gean Paulo Michel (LabHidro-UFSC) que cederam equipamentos e auxílio técnico para o primeiro campo de levantamento topográfico.

Às amigas queridas Cissa e Clara que me deram todo o apoio logístico para a coleta de sedimentos. E a empresa CB&I e aos estagiários do laboratório de sedimentologia que gentilmente trataram as amostras.

Ao professor Antônio Klein e aos oceanógrafos Michel e Mayara (LOC-UFSC) que tão prontamente se propuseram a me auxiliar no segundo levantamento topográfico.

À toda equipe Lahimar, em especial ao Zé pelas ajudas em campo e matlab, Fabiane Brito pelos dados de onda e Alejandro, Odreski e Julia pela companhia, almoços e conversas.

À toda equipe CB&I, em especial a Jonas Oliveira, Bruna Queiroz, Lucas Silveira, Fabricio Martinez, Leonardo Leal, Fernando Ribeiro e Gabriela Bexiga. Todos, cada um a seu jeito, ajudaram muito a enriquecer este trabalho.

Aos meus orientadores Davide Franco e Rodrigo Barletta por me conduzirem nesse longo caminho. Ao professor Davide por me ensinar um novo olhar à ciência. E ao Barletta, além de todo conhecimento que nunca exitou em me passar, por me acalmar nos momentos de desespero, sempre me mostrando uma saída.

À minha família, amigos e ao meu amor. Que sempre estiveram comigo, me dando força e compreendendo os momentos de ausência e estress. À eles dedico este trabalho.



Tenho esperança que um maior conhecimento do mar, que há milênios dá sabedoria ao homem, inspire mais uma vez os pensamentos e as ações daqueles que preservarão o equilíbrio da natureza e permitirão a conservação da própria vida.

*(Jacques Cousteau)*



## RESUMO

A praia da Armação vem sofrendo com um intenso processo erosivo, especialmente no setor sul da praia. Em 2010, ondas de alto nível energético associadas a uma elevada maré meteorológica atingiram toda a praia, destruindo mais de 70 casas. A prefeitura então decretou estado de emergência e iniciou obra emergencial de proteção. Partindo desta problemática, este trabalho se propôs a estudar os processos hidrodinâmicos e morfológicos que regem a praia da Armação, a fim de identificar as possíveis causas desta erosão e gerar informações que possam auxiliar em intervenções futuras de recuperação. Foram levantadas informações de evolução da ocupação urbana, taxas de variação da linha de costa, granulometria, perfil praial e clima de ondas. A partir destas informações foi possível começar a entender os processos ocorrentes na enseada, além destas serem utilizadas na modelagem de propagação de ondas e de transporte sedimentar e morfologia, realizada através do modelo numérico Delft3D. Para a modelagem de 30 anos de dados de ondas, foram selecionados 12 casos de ondas representativos para a região de interesse. Os resultados mostraram que o sistema praial da praia da Armação sofre influência de 4 sistemas de ondas principais: nordeste, leste, sudeste e sul. Sendo os sistemas de sudeste e leste, além dos mais frequentes na região, os que possuem maior capacidade de transportar sedimentos na área de estudo. O transporte sedimentar gerado pelo sistema de ondas de sudeste tem direção de sul pra norte com uma magnitude de até  $1 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$  para ondas de 1 m. Já as ondas de leste geram um transporte de norte pra sul no setor norte e central, e de sul pra norte no setor sul. E são capazes de transportar até  $40 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$  para ondas com altura significativa de 2 metros. Os sistemas de ondas de nordeste formam correntes paralelas a costa com direção predominante de norte para sul, com magnitude inferior a  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$  para ondas até 1 metro. E as ondas de sul, das quais a enseada da Armação é extremamente protegida, transportam sedimentos apenas no setor norte e central, com magnitude de até  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$  para ondas de 1,6 metros. Ao comparar os cenários A (atual – com molhe) e B (hipotético – sem molhe) observou-se que o molhe interrompe uma corrente de sentido sul-norte proveniente da praia do Matadeiro, sendo alimentada também pelo rio Quincas D'água, e que provavelmente abastecia este setor com um significativo volume de sedimentos.

**Palavras-chave:** linha de costa, modelagem numérica, hidrodinâmica, transporte sedimentar.

## ABSTRACT

The Armação beach has suffered intense erosion, especially in the southern sector of the beach. In 2010, waves of high energy level associated with a high meteorological tide reached all the beach, destruin of more than 70 homes. The city government then declared a state of emergency and started work or emergency protection. On this issue, this work proposes to study the hydrodynamic and morphological processes that govern the Armação beach, in order to identify the possible causes of this erosion and to generate information that can assist in future interventions recovery. So information was raised for the evolution of urban occupation , rates of change of the shoreline, grain size, beach profile and wave climate. From this information it was possible to begin to understand the processes in the beach occurring, and these are used in the modeling of wave propagation and sediment transport and morphology, obtained through the numerical model Delft3D. For the modeling, 30 wave data were selected from 12 cases representing waves to the region of interest. The results showed that the beach system of Armação beach Frame is influenced by four main wave systems: Northeast , East, Southeast and South. As systems Ssoutheast and East, and the most frequent in the region, which have a greater capacity to transport sediments in the study area. The sediment transport system generated wave has southeast direction from South to North with a magnitude of up to 1 m<sup>3</sup>/m/hour to 1 m waves. Already the easterly waves generate a transport from north to south in the Northern, Central, and South to North in the Southern sector. And they are capable of carrying up to 40m<sup>3</sup>/m/hour for waves with significant height of 2. The wave systems of northeastern form chains parallel to the coast with the prevailing direction from north to south, with a magnitude less than 0.5 m<sup>3</sup>/m/hour for waves up to 1. And waves south of the cove which Frame is extremely protected, carrying only sediments in the northern and central, with a magnitude of up to 0.5 m<sup>3</sup>/m/hour for waves of 1.6 meters. When comparing scenarios A (current) and B (hypothetical) observed that the pier interrupts a current from south to north beach Matadeiro, also being fed by river Quincas D', and probably supplied this sector with a significant volume of sediment .

**Keyword:** shoreline, numerical modeling, hydrodynamic, sediment transport.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> – Diagrama geral do perfil praial.....	08
<b>Figura 02</b> - Princípio ou Regra de Bruun.....	13
<b>Figura 03</b> – Balanço sedimentar de uma praia.....	14
<b>Figura 04</b> – Esquematização do comportamento de uma praia com sentido Norte-Sul frente aos Sistemas de Ondas dominantes.....	15
<b>Figura 05</b> – Distribuições dos pontos de pressão e componentes da velocidade utilizadas no sistema de grade do Delft3d.....	21
<b>Figura 06</b> - Esquematização da metodologia do hipercubo, na qual é obtida a informa em um determinado ponto (Hsi, Tpi, Diri) a partir dos dados interpolados de Hs, Tp e Dir.....	26
<b>Figura 07</b> – Esquema representativo do sistema de coordenadas.....	29
<b>Figura 08</b> - Seleção da camada kmx (adaptado de DEFLT3D-FLOW, 2007).....	34
<b>Figura 09</b> - Esquema de condição de limite de fluxo de leito.....	35
<b>Figura 10</b> - Localização da Área de Estudo.....	36
<b>Figura 11</b> – Mapa geológico da Ilha de Santa Catarina.....	38
<b>Figura 12</b> – Praia da Armação, dividida nos setores Sul, Central e Norte. Com fotografias representando cada setor.....	40
<b>Figura 13</b> – Perfil esquemático da orla (em metros) no Setor Norte da Praia da Armação, cobrindo o máximo erosivo e acrescivo da praia.....	41
<b>Figura 14</b> - Perfil esquemático da orla (em metros) no Setor Central da Praia da Armação, cobrindo o máximo erosivo e acrescivo da praia.....	41
<b>Figura 15</b> - Perfil esquemático da orla (em metros) no Setor Sul da Praia da Armação, cobrindo o máximo erosivo e acrescivo da.....	42
<b>Figura 16</b> – Imagem representativa do processo de georreferenciamento das imagens, onde podem ser observados os pontos de controle e o erro total gerado.....	49
<b>Figura 17</b> – Classificação de ocupação do solo na área central da Praia da Armação no ano de 2007. As zonas verdes representam baixa densidade, as zonas azuis média densidade e a zona vermelha alta densidade.....	50

<b>Figura 18</b> – Imagem representativa do processo de digitalização da Linha de Costa através da identificação da Linha de Preamar Média.....	51
<b>Figura 19</b> – Divisão dos transectos para Praia da Armação em Setor Norte, Central e Sul.....	53
<b>Figura 20</b> – Definição dos pontos de controle (Klein <i>et al</i> , 2003).....	54
<b>Figura 21</b> – Aplicação do modelo Parabólico (Klein <i>et al</i> , 2003).....	55
<b>Figura 22</b> – Pontos de Levantamento de Perfis Subaéreos (pontos vermelhos) e de coleta de sedimentos (pontos verdes).....	56
<b>Figura 23</b> – Indicação das zonas de coletas de sedimentos.....	57
<b>Figura 24</b> – Diagrama Triangular de Classificação dos Sedimentos Clásticos de Shepard (1954).....	59
<b>Figura 25</b> – Instalação da Base L1 do DGPS na Praia da Armação.....	60
<b>Figura 26</b> - Base instalada no marco do LOC na Ilha das Campanhas (à esquerda) e levantamento do perfil 3 (à direita).....	61
<b>Figura 27</b> – Levantamento da forma e altimetria da obra de enrocamento.....	62
<b>Figura 28</b> – Ondulação geoidal da área de estudo indicada pelo programa MAPGEO2010.....	62
<b>Figura 29</b> – Grades numéricas utilizadas A) Grade regional, B) Grade intermediária e C) Grade local.....	65
<b>Figura 30</b> – Batimetria interpolada na grade intermediária.....	67
<b>Figura 31</b> – Batimetria interpolada na grade local.....	67
<b>Figura 32</b> - Casos de onda (Dir x Hs) selecionados para as propagações de onda (pontos vermelhos) a partir de todos os casos de onda registrados para os 30 anos (pontos pretos).....	69
<b>Figura 33</b> - Casos de onda (Dir x Tp) selecionados para as propagações de onda (pontos vermelhos) a partir de todos os casos de onda registrados para os 30 anos (pontos pretos).....	70
<b>Figura 34</b> - Casos de onda (Dir x Hs x Tp) selecionados para as propagações de onda (pontos vermelhos) a partir de todos os casos de onda registrados para os 30 anos (pontos pretos).....	70
<b>Figura 35</b> - Pontos escolhidos para reconstrução da série de ondas em águas rasas.....	71
<b>Figura 36</b> - Localização dos pontos: Wave Watch 3 e ondógrafo, dos quais foram extraídas as séries de dados de onda para as simulações de propagação de ondas (águas rasas para água profundas).....	72

<b>Figura 37</b> – Comparação dos dados medidos e simulados de altura significativa (Hs), período de pico (Dp) e direção de pico (Dp).....	73
<b>Figura 38</b> – Gráfico de Evolução da ocupação urbana da Praia da Armação. Grau de ocupação por classe: Baixa, menor que 30%; Moderada, entre 30 e 70%; e Alta, maior que 70%.....	80
<b>Figura 39</b> – Imagens analisadas (com exceção de 2007 e 2009) e classificadas de acordo com seu nível de ocupação em densidade baixa (< 30%), moderada (entre 30 e 70%) e alta (> 70%).....	81
<b>Figura 40</b> – Imagem aérea do setor sul da Praia da Armação, com visível supressão das dunas pela urbanização (Fonte: <i>Google Earth</i> ).....	82
<b>Figura 41</b> – Taxas de Variação da Linha de Costa para todos os períodos analisados.....	87
<b>Figura 42</b> – Valores de Deslocamento da Linha de Costa para todas as imagens analisadas.....	88
<b>Figura 43</b> – Definição da Linha da Crista de Ondas e do Ponto de Difração. Resultado da Linha de Costa Teórica obtida através do <i>software</i> MEPPE 2.0.....	91
<b>Figura 44</b> – A) Dimensão da linha de costa analisada; B) Fração da Linha de Costa Teórica que corresponde posição da Linha de Costa atual, igual a 750 metros (azul) e, fração da Linha de Costa Teórica que não corresponde a posição da Linha de Costa atual, igual a 600 metros.....	92
<b>Figura 45</b> – Diagrama ternário de classificação textural de Shepard (1954) para as amostras coletadas.....	93
<b>Figura 46</b> – Distribuição granulométrica dos cinco pontos de coleta. Os valores são resultado da média obtida entre face, berma e pós praia superior.....	94
<b>Figura 47</b> – Diagrama de dispersão que relaciona a média do tamanho dos grãos (Mz) e o grau de seleção (Dp) para cada amostra.....	97

<b>Figura 48</b> – Diagrama de dispersão que relaciona a média do tamanho dos grãos (Mz) e assimetria (Ski) para cada amostra.....	99
<b>Figura 49</b> – Diagrama de dispersão que relaciona a média do tamanho dos grãos (Mz) e a curtose (Kg) para cada amostra.....	100
<b>Figura 50</b> – Gráficos de frequência acumulada das classes granulométricas para as três feições praias analisadas: pós praia superior, berma praial e face praial.....	101
<b>Figura 51</b> – Perfil praial 01 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013.....	103
<b>Figura 52</b> – À esquerda Perfil 01 no Campo I e à direita Perfil 01 no Campo II.....	104
<b>Figura 53</b> – Perfil praial 02 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013.....	104
<b>Figura 54</b> – À esquerda Perfil 02 no Campo I e à direita Perfil 02 no Campo II.....	105
<b>Figura 55</b> – Perfil praial 03 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013.....	105
<b>Figura 56</b> – Imagens dos perfis 3 à 10, obtidas durante o Campo II.....	106
<b>Figura 57</b> – Perfil praial 04 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013.....	107
<b>Figura 58</b> – Perfil praial 05 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013.....	108
<b>Figura 59</b> – Perfil praial 06 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013.....	108
<b>Figura 60</b> – Perfil praial 07 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013.....	109
<b>Figura 61</b> – Perfil praial 08 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013.....	110
<b>Figura 62</b> – Perfil praial 09 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013.....	110
<b>Figura 63</b> – Perfil praial 10 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013.....	111
<b>Figura 64</b> – Histograma de Altura Significativa (Hs) em número de ocorrência e porcentagem.....	113
<b>Figura 65</b> – Histograma de Período de Pico (Tp) em número de ocorrência e porcentagem.....	114
<b>Figura 66</b> – Histograma de Direção de Pico (Dp) em número de ocorrência e porcentagem.....	114
<b>Figura 67</b> – Diagrama direcional de ondas para 30 anos de dados em águas profundas obtidos pelo modelo WW3. A escala de cores corresponde a altura significativa e período de pico respectivamente.....	114
<b>Figura 68</b> – Histograma Hs comparativo das três décadas.....	116
<b>Figura 69</b> – Histograma Tp comparativo das três décadas.....	116
<b>Figura 70</b> – Histograma Dp comparativo das três décadas.....	116
<b>Figura 71</b> – Diagrama direcional de ondas para cada década dos 30 anos de dados obtidos pelo modelo WW3. Valores de Hs (à esquerda) e Tp (à direita).....	117
<b>Figura 72</b> – Gráfico bivariado de Hs e Tp para a década de 80.....	118

<b>Figura 73</b> – Gráfico bivariado de Hs e Tp para a década de 90.....	118
<b>Figura 74</b> – Rosa de ondas para o período de 1980 à 2009, propagados de águas profundas e extraídos no “ponto externo”, localizado em frente a praia da Armação em 14,5 metros de profundidade.....	120
<b>Figura 75</b> - Histograma de direção de pico (Dp), em graus, ao longo das três décadas.....	120
<b>Figura 76</b> - Histograma de altura significativa (Hs), em metro, ao longo das três décadas.....	121
<b>Figura 77</b> – Rosa de ondas, com dados analisados por década para cada setor analisado (norte, central e sul).....	122
<b>Figura 78</b> – Variação da altura significativa de onda ao longo do perfil longitudinal da isóbata de 5 metros. Caso 1: Hs=1,03m, Tp=6,88s, Dir=47,82°; Caso 2: Hs=1,44m, Tp=7,47s, Dir=54,33°; Caso 3: Hs=1,86m, Tp=8,21s, Dir=55,20°.....	123
<b>Figura 79</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 1 de ondas: Hs=1,03m, Tp=6,88s, Dir=47,82° para o cenário A.....	124
<b>Figura 80</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 2 de ondas: Hs=1,44m, Tp=7,47s, Dir=54,33° para o cenário A.....	125
<b>Figura 81</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 3 de ondas: Hs=1,86m, Tp=8,21s, Dir=55,20° para o cenário A.....	125
<b>Figura 82</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 2 de ondas: Hs=1,44m, Tp=7,47s, Dir=54,33° para o cenário B, e no detalhe o cenário A.....	126
<b>Figura 83</b> – Gradiente do transporte de sedimentos (m <sup>3</sup> /m/hora) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do caso 1: Hs=1,03m, Tp=6,88s, Dir=47,82°.....	127
<b>Figura 84</b> – Gradiente do transporte de sedimentos (m <sup>3</sup> /m/hora) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do caso 3: Hs=1,86m, Tp=8,21s, Dir=55,20°.....	128
<b>Figura 85</b> – Variação da altura significativa de onda ao longo do perfil longitudinal da isóbata de 5 metros. Caso 4: Hs=1,16m, Tp=7,55s, Dir=79,99°; Caso 5: Hs=1,72m, Tp=7,95s, Dir=83,15°; Caso 6: Hs=2,48m, Tp=8,55s, Dir=85,21°.....	129
<b>Figura 86</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 4 de ondas: Hs=1,16m, Tp=7,55s, Dir=79,99° para o cenário A.....	130
<b>Figura 87</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 5 de ondas: Hs=1,72m, Tp=7,95s, Dir=83,15° para o cenário A.....	130

<b>Figura 88</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 6 de ondas: Hs=2,48m, Tp=8,55s, Dir=85,21° para o cenário A.....	131
<b>Figura 89</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 5 de ondas: Hs=1,72m, Tp=7,95s, Dir=83,15° para o cenário B, e no detalhe o cenário A.....	131
<b>Figura 90</b> – Gradiente do transporte de sedimentos (m <sup>3</sup> /m/hora) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do caso 4: Hs=1,16m, Tp=7,55s, Dir=79,99°.....	133
<b>Figura 91</b> – Gradiente do transporte de sedimentos (m <sup>3</sup> /m/hora) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do caso 6: Hs=2,48m, Tp=8,55s, Dir=85,21°.....	134
<b>Figura 92</b> – Variação da altura significativa de onda ao longo do perfil longitudinal da isóbata de 5 metros. Caso 7: Hs=1,36m, Tp=9,31s, Dir=143,5°; Caso 8: Hs=2,14m, Tp=9,79s, Dir=146,2°; Caso 9: Hs=3,15m, Tp=10,55s, Dir=147,9°.....	135
<b>Figura 93</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 7 de ondas: Hs=1,36m, Tp=9,31s, Dir=143,5° para o cenário A.....	136
<b>Figura 94</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 8 de ondas: Hs=2,14m, Tp=9,79s, Dir=146,2° para o cenário A.....	137
<b>Figura 95</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 9 de ondas: Hs=3,15m, Tp=10,55s, Dir=147,9° para o cenário A.....	137
<b>Figura 96</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 8 de ondas: Hs=2,14m, Tp=9,79s, Dir=146,2° para o cenário B, e no detalhe o cenário A.....	138
<b>Figura 97</b> – Gradiente do transporte de sedimentos (m <sup>3</sup> /m/hora) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do Caso 7: Hs=1,36m, p=9,31s, Dir=143,5°.....	139
<b>Figura 98</b> – Gradiente do transporte de sedimentos (m <sup>3</sup> /m/hora) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do caso 9: Hs=3,15m, Tp=10,55s, Dir=147,9°.....	140
<b>Figura 99</b> – Variação da altura significativa de onda ao longo do perfil longitudinal da isóbata de 5 metros. Caso 10: Hs=1,63m, Tp=10,13s, Dir=180°; Caso 11: Hs=2,5m, Tp=10,63s, Dir=180°; Caso 12: Hs=3,43m, Tp=11,1s, Dir=180°.....	141
<b>Figura 100</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 10 de ondas: Hs=1,63m, Tp=10,13s, Dir=180° para o cenário A.....	142

<b>Figura 101</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 11 de ondas: Hs=2,5m, Tp=10,63s, Dir=180° para o cenário A.....	142
<b>Figura 102</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 12 de ondas: Hs=3,43m, Tp=11,1s, Dir=180° para o cenário A.....	143
<b>Figura 103</b> – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 11 de ondas: Hs=2,5m, Tp=10,63s, Dir=180° para o cenário B, e no detalhe o cenário A.....	143
<b>Figura 104</b> – Gradiente do transporte de sedimentos (m <sup>3</sup> /m/hora) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do Caso 10: Hs=1,63m, Tp=10,13s, Dir=180°.....	144
<b>Figura 105</b> – Gradiente do transporte de sedimentos (m <sup>3</sup> /m/hora) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do Caso 12: Hs=3,43m, Tp=11,1s, Dir=180°.....	145

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> – Causas naturais e antrópicas da erosão costeira no Brasil (modificado de Souza <i>et al</i> , 2005).....	11
<b>Tabela 02</b> – Balanço sedimentar litorâneo.....	14
<b>Tabela 03</b> – Principais tipos de ondas ocorrentes em Santa Catarina. Dados de Direção em águas profundas ( $\Theta$ ); Período de Pico (Tp); Altura significativa da onda (Hs); e Frequência por intervalos de Hs e Frequência Total.....	44
<b>Tabela 04</b> – Dados das imagens utilizadas.....	48
<b>Tabela 05</b> – Escala granulométrica .....	57
<b>Tabela 06</b> – Nomenclatura adotada para as diversas classes de sedimentos conforme a seleção, assimetria e curtose.....	58
<b>Tabela 07</b> – Coordenadas Geográficas (no Datum WGS84) do ponto inicial de todos os perfis do Campo I, replicados no Campo II.....	61
<b>Tabela 08</b> – Configuração das fronteiras do modelo de ondas.....	68
<b>Tabela 09</b> – Processos representados pelo modelo de ondas e seus respectivos parâmetros.....	69
<b>Tabela 10</b> – Pontos de reconstrução da série temporal.....	71

<b>Tabela 11</b> - Características dos casos de ondas simulados e suas respectivas frequências de ocorrência.....	74
<b>Tabela 12</b> – Parâmetros utilizados no modelo hidrodinâmico e de transporte de sedimentos.....	75
<b>Tabela 13</b> – Características das frações de sedimento utilizadas no modelo da praia da Armação.....	75
<b>Tabela 14</b> – Caracterização das fronteiras do modelo hidrodinâmico.....	76
<b>Tabela 15</b> – Classes de densidade (%) encontradas para cada imagem (data) analisada.....	79
<b>Tabela 16</b> - Classes de densidade (%) encontradas para cada imagem (data) analisada, categorizada nos setores Norte, Central e Sul da praia.....	80
<b>Tabela 17</b> – Valores de Incerteza referente ao processo de Extração da Linha de Costa. Onde Eg = Erro de georreferenciamento; Ed = Erro de digitalização; Em = Erro associado à variação da maré.....	84
<b>Tabela 18</b> – Valores de Incerteza entre duas Linhas de Costa (Ea) em metros por ano (m/ano).....	84
<b>Tabela 19</b> – Valores de Deslocamento da Linha de Costa (m), e Taxa de Variação (m/ano), e suas respectivas incertezas, para o intervalo de tempo entre os anos de 1938 e 2011. Setor Norte (transecto 1 à 20), Setor Central (transecto 21 à 40), Setor Sul (transecto 41 à 63) e Total.....	85
<b>Tabela 20</b> – Valores de Deslocamento da Linha de Costa (m), e Taxa de Variação (m/ano), e suas respectivas incertezas, para o intervalo de tempo entre os anos de 1994 e 2011.....	85
<b>Tabela 21</b> – Valores de Deslocamento total e Incerteza em metros, para cada período analisado, para a praia em sua extensão total (média de todos os transectos) e para cada setor (média dos transectos de cada setor). Setor Norte: transectos 1 à 20; Setor Central: transectos 21 à 40; Setor Sul: transectos 41 à 63.....	86
<b>Tabela 22</b> - Valores de Taxa de Variação da Linha de Costa e Incerteza (m/ano), para cada período analisado, para a praia em sua extensão total e para cada setor. Setor Norte: transectos 1 à 20; Setor Central: transectos 21 à 40; Setor Sul: transectos 41 à 63.....	86
<b>Tabela 23</b> – Distribuição das frações de cascalho, areia e silte para cada perfil (média entre as feições analisadas - pós praia, berma e face praial).....	93
<b>Tabela 24</b> – Porcentagem (%) de material por classes granulométricas segundo classificação de Wentworth (1922).....	95

<b>Tabela 25</b> – Valores de Granulometria ( $\phi$ ) da Praia da Armação encontrados nos trabalhos de Abreu de Castilhos (1995) e Horn Filho (2006) em comparação com o trabalho atual (Dalbosco, 2013).....	96
<b>Tabela 26</b> – Classificação das amostras quanto seu grau de seleção e distribuição.....	98
<b>Tabela 27</b> – Dados estatísticos descritivos dos parâmetros de Altura significativa ( $H_s$ ), Período de Pico ( $T_p$ ) e Direção de Pico ( $D_p$ ) para o período de 1980 à 2009.....	113
<b>Tabela 28</b> - Dados estatísticos descritivos dos parâmetros de Altura significativa ( $H_s$ ), Período de Pico ( $T_p$ ) e Direção de Pico ( $D_p$ ) analisados para cada década em separado: 1980, 1990 e 2000.....	115
<b>Tabela 29</b> – Variação na taxa de transporte sedimentar ( $m^3/m/hora$ ) por setores da praia para caso de onda propagado para o Cenário A. Valores positivos indicam transporte de norte para sul e valores negativos de sul para norte....	148

## SUMÁRIO

RESUMO	IX
ABSTRACT	X
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XVII
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Hipóteses</b>	<b>5</b>

<b>1.2 Objetivos</b>	<b>6</b>
<b>2. Revisão Bibliográfica</b>	<b>7</b>
2.1 Conceitos e definições de nomenclatura praial	7
2.2 Processos praias erosivos	9
2.2.1 Principais causas	10
2.2.2 Técnicas de detecção	16
2.2 Modelagem numérica - Delft3D	18
2.2.1 Delft-RGFGRID	20
2.2.2 Delft3D Wave - SWAN	22
2.2.2.1 Método hipercubo	25
2.2.2.2 Esquematização dos casos de ondas	27
2.2.3 Delft3D Flow	28
2.2.3.1 Transporte de sedimentos	32
<b>3. Área de Estudo</b>	<b>35</b>
3.1 Localização geográfica	35
3.2 Arcabouço geológico	36
3.3 Aspectos climáticos e meteorológicos	39
3.4 Caracterização morfodinâmica	40
<b>4. Metodologia</b>	<b>47</b>
4.1 Evolução da ocupação do solo	47
4.1.1 Aquisição das imagens	47
4.1.2 Georreferenciamento	48
4.1.3 Mapeamento e classificação	49
4.2 Variação da linha de costa	50
4.2.1 Definição do estimador	50
4.2.2 Digitalização da linha de costa	51

4.2.3 Cálculo da incerteza	51
4.2.4 Cálculo das taxas de variação	52
4.3 Perfil de equilíbrio em planta	53
4.4 Análise granulométrica	55
4.5 Perfil praiado emerso	59
4.6 Análise estatística do clima de ondas	63
4.7 Modelagem numérica	64
4.7.1 Pré-processamento	64
4.7.2 Configuração do modelo de ondas	68
4.7.2.1 Hipercubo	69
4.7.2.2 Esquematização dos casos de ondas	73
4.7.3 Configuração do modelo hidrodinâmico e de transporte de sedimentos	74
<b>5. Resultados e Discussão</b>	<b>79</b>
5.1 Evolução da ocupação do solo	79
5.2 Variação da linha de costa	83
5.3 Perfil de equilíbrio em planta	91
5.4 Análise granulométrica	94
5.5 Perfil praiado emerso	103
5.6 Análise estatística do clima de ondas	113
5.7 Modelagem numérica	119

5.7.1	Análise preliminar dos dados de ondas em águas rasas	119
5.7.2	Sistemas de ondas de Nordeste (Casos 1, 2 e 3)	123
5.7.3	Sistemas de ondas de Leste (Casos 4, 5 e 6)	128
5.7.4	Sistemas de ondas de Sudeste (Casos 7, 8 e 9)	135
5.7.5	Sistemas de ondas de Sul (Casos 10, 11 e 12)	140
5.7.6	Síntese dos resultados	146
<b>6.</b>	<b>Conclusões</b>	<b>149</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>		<b>153</b>
<b>Anexo A – Monografia do Marco – LOC</b>		<b>173</b>
<b>Anexo B – FEMAR Florianópolis (Porto)</b>		<b>175</b>
<b>Anexo C – Altura significativa (m) do cenário A</b>		<b>176</b>
<b>Anexo D – Campo de correntes para o cenário B</b>		<b>182</b>

## 1. Introdução

As praias arenosas oceânicas apresentam-se como sistemas transicionais altamente dinâmicos e sensíveis, que constantemente ajustam-se a flutuações dos níveis de energia locais e sofrem retrabalhamento principalmente por processos hidráulicos (HOEFEL, 1998). Respondendo a estas flutuações de energia, a morfodinâmica da praia, que é o resultado da interação entre as ondas incidentes, o sedimento e a morfologia antecedente da praia (MENEZES, 1999), modifica-se constantemente, resultando em variações espaciais da linha costa por processos de acreção e erosão praiial (SIMÓ; HORN, 2004).

A erosão costeira é um processo que afeta uma parcela expressiva das praias arenosas de todo o mundo (KOMAR; HOLMAN, 1986; XUE *et al.*, 2009). Estudos mais atuais já não se atentam apenas ao problema erosivo. Mas abordam a vulnerabilidade costeira com foco em estratégias de mitigação, recuperação e até de prevenção frente a uma possível elevação do nível do mar decorrente das mudanças climáticas (STALLWORTHY, 2006; NOCOLODI; PETERMANN, 2010). No Brasil, segundo relatório publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (MUEHE, 2006) intitulado “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro”, os processos de erosão ocorrem ao longo de toda a costa com predomínio sobre os processos de acreção. Este mesmo relatório aponta como principais causas de erosão: (i) a intervenção do homem nos processos costeiros, (ii) a urbanização da orla e (iii) a falta de suprimento sedimentar.

A Ilha de Santa Catarina, assim como o território nacional, também sofre com processos erosivos em diversas praias de sua orla, em especial a Praia da Armação, alvo deste estudo.

A Praia da Armação vem sendo estudada por diversos autores desde a década de 90. Abreu de Castilhos (1995), a primeira autora a estudar a enseada, verificou uma elevada variabilidade do perfil ao longo da praia, e que esta sofria um recuo de sua linha de costa no setor centro-sul e sul, e um aumento da largura do pós-praia no setor centro-norte e norte. Dando prosseguimento ao estudo da enseada, Abreu de Castilhos (1997) quantificou o transporte sedimentar na praia e concluiu que as ondulações médias de sudeste transportam 5 vezes mais sedimentos para o norte do que as de nordeste transportam para Sul. Então Abreu de Castilhos *et al.* (2005) relacionaram igualmente os processos erosivos no setor sul da praia à atuação de transporte longitudinal com a configuração deste setor como área fonte de sedimentos para os setores centro e norte da praia. Intensificados também pelo forte processo de urbanização existente no setor sul, onde as dunas frontais já foram totalmente suprimidas por residências e estabelecimentos comerciais.

Este processo de urbanização, que hoje afeta diretamente a dinâmica da praia, iniciou-se em meados do século XVIII com a caça às baleias. Posteriormente, com o declínio da caça do mamífero, tornou-se uma aldeia de pescadores, localizada na área mais abrigada da enseada, o setor sul. Mesmo setor que a partir da década de 70; com a BR-101 recém-construída e com a implantação da Universidade Federal de Santa Catarina e empresas estaduais e federais; teve sua população multiplicada (IPUF, 2008).

Outro condicionante antrópico muito citado quando se fala dos processos erosivos da praia da Armação é o molhe que liga o extremo sul da praia a Ilha das Campanhas. Pereira (2010) realizou uma vasta análise sobre os processos erosivos ocorrentes na praia e associou a ampliação do molhe, ocorrida entre os anos 50 e 70, fechando por completo a conexão entre o rio Quincas D'água e praia do Matadeiro com a praia da Armação, à erosão observada na praia desde a década de 90. Segundo o autor, o molhe fortaleceu a forma de arco praial da praia, intensificando sua fragilidade natural frente aos eventos de alta energia.

Mas somados ao fatores antrópicos, processos erosivos também foram observados decorrentes dos eventos de “ressaca”, onde ocorre a sobre-elevação do nível do mar, normalmente ocasionada devido a uma maré meteorológica (*storm surge*), coincidindo com a ocorrência de ondas maiores que o normal (BITENCOURT *et al.*, 2002; KOBAYAMA *et al.*, 2006).

Krueger (2011) e Rudorff (2005) realizaram um levantamento das ressacas ocorridas no estado de Santa Catarina. Apesar de analisarem períodos e metodologias distintas, Florianópolis se destacou em ambos trabalhos como uma das cidades mais afetadas por estes eventos. Com grande parte da sua orla intensamente urbanizada, a cidade se torna vulnerável a processos erosivos decorrentes de eventos extremos.

Além dos trabalhos citados, diversos outros foram realizados com o objetivo de definir as áreas da Ilha de Santa Catarina mais suscetíveis a processos erosivos, associados principalmente a períodos de alta energia de onda (SIMÓ; HORN FILHO, 2004; MAZZER *et al.*, 2008; RUDORFF; BONETTI, 2010; MULDER, 2012). Todos estes trabalhos classificaram a Praia da Armação como de alto risco a processos erosivos em casos de eventos de elevação do nível do mar e alta energia de onda. Sendo que no setor sul foram encontrados os maiores valores de suscetibilidade. Fato resultante pelo setor apresentar o perfil mais baixo e plano de toda enseada e suas dunas frontais e interiores totalmente suprimidas pela urbanização (RUDORFF & BONETTI, 2010). Corroborando com o último trabalho de Abreu de Castilhos (2010), que discute que a ampliação dos processos erosivos na praia pode estar associada não somente com o impacto da urbanização da orla e do balanço sedimentar

longitudinal, mas também com o aumento na frequência e intensidade de eventos excepcionais de alta energia na região, decorrentes de oscilações climáticas. Na última década, podemos citar como principais eventos erosivos na Praia da Armação os ocorrentes em 2005 e 2010.

Em agosto de 2005, um ciclone extratropical associado a um anticiclone intenso, gerou grandes ondas de leste com influência de sudeste. O ondógrafo da UFSC, localizado na isóbata de 80 m de profundidade a leste da Ilha de Santa Catarina chegou a registrar altura significativa de onda de 7,2 m. Os ventos mais intensos foram registrados no aeroporto de Florianópolis, com 93,6 km/h, em São José, com 110 km/h e na Ilha do Arvoredo, com 139 km/h, proporcionando assim condições favoráveis para a ocorrência de maré de tempestade. Os setores mais atingidos da praia da Armação foram o central e o sul, chegando a danificar a estrutura do posto de salva vidas (RUDORFF, 2005)

Em abril de 2010, também um ciclone extratropical no oceano, deu início a fortes ventos do quadrante S/SE e um estado de mar que gerou um intenso evento de erosão na Armação. Nos três meses que seguiram, sucessivos eventos de ondas associadas a elevada maré meteorológica geradas por ciclones no oceano atingiram a praia, levando erosão a mais de 70 casas. E obrigando a Prefeitura de Florianópolis a decretar estado de emergência e iniciar obra de enrocamento na porção sul e central da praia. O muro possui 1,6 km de extensão e em torno de 84 mil metros cúbicos de pedras. Vale ressaltar que essas obras são paliativas, e foram realizadas com o intuito de amenizar os danos causados pela erosão costeira, e prevenir que a água do mar não contaminasse o importante manancial de água doce da lagoa do Peri (SILVA; HORN FILHO, 2010).

Com base neste cenário, este estudo teve como motivação gerar informações que auxiliem no monitoramento costeiro e na tomada de decisões referentes a medidas de proteção costeira e ambiental. Para isso, é necessário que primeiro se conheça as possíveis causas e agravantes que contribuíram para o panorama atual. Sendo assim, este trabalho iniciou com uma análise preliminar da área de estudo, onde foram levantadas informações de variação de linha de costa, evolução da ocupação urbana, clima de ondas, granulometria e perfil praial. Posteriormente, através da modelagem numérica, foram definidos os padrões de transporte sedimentar relacionados aos principais sistemas de ondas atuantes na região. Definido o comportamento atual da praia, modelou-se um cenário hipotético da praia da Armação sem o molhe que liga a praia a Ilha das Campanhas. Esta modelagem tem o objetivo de investigar se

tal obra gerou alterações nas correntes de deriva litorânea e interrompeu o aporte sedimentar proveniente do rio Quincas D'água e praia do Matadeiro.

## 1.1 Hipóteses

Com base em revisão bibliográfica e análise de variação histórica da linha de costa realizadas para praia da Armação, além da documentação da erosão sofrida pela praia no começo do Outono de 2010, verifica-se que a enseada sofre um processo erosivo no setor Central e Sul da praia. Desta maneira, 3 hipóteses iniciais sobre o comportamento hidrodinâmico e as causas da erosão da praia da Armação foram formuladas e serão testadas:

1. A intensa ocupação urbana no setor centro-sul da praia, em zonas que fazem parte do perfil dinâmico da praia, fixa o ambiente e interfere nos processos de recuperação praial após eventos hidrodinâmicos extremos e de reorientação de linha de costa decorrentes de possíveis alterações no clima de ondas.
2. Atualmente a praia apresenta déficit de sedimentos na sua porção sul e acúmulo de sedimentos na praia subaérea na porção norte. O fluxo resultante de sedimentos nesta praia é do sul para o norte.
3. A construção do molhe que liga o setor sul da Praia da Armação à Ilha das Campanhas alterou o comportamento das correntes de deriva litorânea e interrompeu o aporte sedimentar proveniente do Rio Quincas D'água e da praia do Matadeiro no setor sul da praia. Esta seria uma fonte de sedimentos para a Armação que foi limitada, impossibilitando a reposição do estoque sedimentar levado pela deriva litorânea;

## **1.2 Objetivos**

### **Geral**

O presente trabalho tem por objetivo entender o comportamento hidrodinâmico e padrões de transporte sedimentar que regem a praia da Armação. E testar um cenário hipotético da praia da Armação na ausência do molhe que hoje liga o extremo sul da praia a Ilha das Campanhas.

### **Específicos**

- Identificar, por meio de imagens aéreas, os processos de reorientação e pontos localizados de retração e progradação histórica da linha de costa, assim como quantificar taxas históricas de migração;
- Conhecer, também através de imagens aéreas, o processo evolutivo de ocupação urbana da enseada da Armação;
- Relacionar o clima de ondas das últimas três décadas com as taxas de retração e progradação da linha de costa para o mesmo período.
- Examinar como os principais sistemas de ondas incidentes na área de estudo governam os padrões de transporte sedimentar da enseada da praia da Armação em situação atual, através do modelo Delft3D;
- Investigar possíveis alterações no padrão de transporte sedimentar na praia da Armação na ausência do molhe que liga a praia com a Ilha das Campanhas, através do modelo Delft3D;

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Conceitos e Definições de Nomenclatura Praial**

As praias arenosas são sistemas transicionais altamente dinâmicos que se ajustam constantemente a flutuações dos níveis de energia locais. Apresentam alta resiliência em comparação aos outros ambientes costeiros devido à alta capacidade de absorver a energia da onda (MCLACHLAN; BROWN, 2006). De acordo com Short (1999) praia é a acumulação de sedimentos não consolidados depositados pelas ondas entre a profundidade de fechamento das ondas (profundidade máxima na qual a onda pode transportar material praial em direção à costa) e o limite superior do espriamento (limite, em direção a terra, da ação subaérea da onda e do transporte de sedimento). Mas segundo Komar (1976), a praia se estende desde o nível médio da maré de preamar até alguma alteração fisiográfica brusca, como falésias, dunas e áreas permanentemente vegetadas. Tais limites delimitam o prisma praial, definido como a região do ambiente praial onde ocorrem as trocas de sedimentos e consequentes mudanças morfológicas.

As praias podem ocorrer em todas as latitudes, climas, amplitudes de marés e tipos de costas, podendo ser, entretanto, influenciadas e modificadas por processos como marés e ventos, além de parâmetros como o tipo de material constituinte (SHORT, 1999). São normalmente compostas por sedimentos provenientes da erosão de grandes rochas ou minerais. Após a deposição na região costeira os sedimentos são constantemente erodidos pelas ondas, sofrendo arredondamento e modificando seu tamanho, forma e densidade (KOMAR, 1998).

O comportamento e morfologia da praia podem ser significativamente afetados por muitos fatores, como período e altura da onda, velocidade e direção das correntes, transporte de sedimentos, entre outros. A interação desses fatores é responsável pela configuração praial e pela característica de cada zona da praia (SHORT; WRIGHT, 1983). Portanto qualquer tentativa de zonação praial, tem que levar em conta as características dinâmicas deste ambiente. Porém não há um padrão nos conceitos e nomenclaturas aplicadas na descrição de um sistema praial, e neste trabalho será utilizada a classificação realizada por Komar (1976).

O autor define os limites de uma praia no âmbito morfológico e hidrodinâmico.



**Figura 01** – Diagrama geral do perfil praial (modificado de Komar (1976))

### Zonação morfológica

Morfologicamente, a praia pode ser dividida em pós-praia e antepraia.

A **pós-praia** (*Backshore*) define-se como a parte da praia coberta pela água apenas durante as tempestades e que, conseqüentemente, está acima do nível da preia-mar. Se estende do limite superior da zona de varrido (*swash*) até o início das dunas fixadas por vegetação ou de qualquer outra mudança fisiográfica brusca. Esta região é constituída por uma porção praticamente plana, de inclinação suave denominada por berma. Apresenta feições morfológicas como cristas, cúspides e mega-cúspides (HOEFEL, 1998).

A **antepraia superior** (*Foreshore*) é limitada pela altura máxima de preia-mar e pela mínima de baixa-mar. É nesta zona que se identifica a face praiial, parte do perfil praiial sobre o qual ocorrem os processos de espraiamento, fluxo e refluxo (*swash e backwash*) (HOEFEL, op. cit.). Apresenta feições morfológicas como cavas e bancos (longitudinais, transversais e oblíquos) (SHORT, 1999).

A zona descrita como **antepraia inferior** (*Shorerise*) é caracterizada por uma parte do perfil submerso, entre o nível de maré baixa até aos bancos de areia (barra). Está localizada entre a profundidade de fechamento (quando a profundidade atinge cerca de  $\frac{1}{4}$  do comprimento de onda) e o início da zona de arrebenção. Neste setor ocorrem os processos hidrodinâmicos de refração, atrito com o fundo e empinamento (*shoaling*) das ondas provocadas pelo decréscimo da profundidade em relação ao continente (SHORT, op. cit.).

É também definido por Komar (1976), uma zona (não representada na figura), após a antepraia inferior como *offshore*, zona mais distante da linha de costa.

### *Zonação hidrodinâmica*

A zona hidrodinâmica caracteriza-se pelo clima de ondas podendo ser dividida em zona de espraiamento, zona de surf e zona de rebentação.

Há também a **zona de empolamento** (*Shoaling*), que se caracteriza pelo início da ocorrência das transformações na propagação de ondas (empilhamento), que culminam com a quebra no ponto de quebra, onde inicia a zona de arrebenção. O seu limite externo é a profundidade de fechamento (*closure depth*) (SHORT, 1999).

A **zona de rebentação** (*Breaker Zone*) é a porção do perfil praiial onde ocorre a quebra da onda. Ao aproximar-se de águas progressivamente mais rasas, as ondas incidentes tendem a destabilizar-se até um ponto no qual quebrarão. Em condições de ondas ao acaso, a linha de arrebenção é a região mais profunda onde a onda quebra em determinada situação. Ao ponto de quebra (*breaking point*), dependendo do tipo de praia, associa-se a ocorrência de um banco arenoso, geralmente longitudinal à costa, o qual é seguido por uma cava. Em praias muito inclinadas a onda quebra sobre o degrau da praia, e, em praias muito planas, a onda quebra quando atinge a saturação (HOEFEL, op. cit.).

A presença da **zona de surf** (*Surf Zone*) estende-se desde a zona de rebentação até a zona de espraiamento. É a mais variável das três zonas e é influenciada pelas marés (SHORT, 1999). Sobre esta área ocorre a dissipação da energia da onda. A caracterização da zona de surfe numa praia depende diretamente do modo de dissipação energética das ondas, ou seja, do tipo de arrebenção. Em praias de baixa declividade, as ondas que inicialmente quebram tornam-se como vagalhões (*bores*), espraiando-se ao longo da zona de surfe em decaimento exponencial de altura, até atingirem a linha de praia. Durante este percurso, grande parte da energia é transferida para a geração de correntes longitudinais (*longshore currents*) e transversais (*rip currents*) à praia e para a excitação de oscilações de longo período, conhecidas como de infragravidade.

A **zona de espraiamento** (*Swash Zone*) é definida como aquela região da praia delimitada entre a máxima e a mínima excursão do processo de varrido da onda sobre a face praiial. A posição da linha de costa muda de acordo com as mudanças do nível do mar e, portanto, a zona de varrido da onda torna-se alternadamente seca e molhada com o passar do tempo (HOEFEL, 1998).

## 2.2 Processos praias erosivos

O sistema morfodinâmico costeiro é definido por Wright e Thom (1977) como sendo a completa assembleia de limites contrastantes, forças motrizes, processos dinâmicos do fluído, morfologia e sucessão de mudanças evolutivas. Sendo assim, os processos de erosão e acreção que nelas se estabelecem são resultados da tentativa de manutenção de seu equilíbrio, sendo, portanto, parte da dinâmica natural destes ambientes, ocorrendo desde tempos remotos, causados por alterações no balanço de sedimentos e energia, que por sua vez podem ter origem natural, antrópica ou da conjugação da ação de ambas (DIAS, 1993).

Dados relativos à década de 1990 mostram que, já naquela época, 70% das praias arenosas do planeta estavam em erosão, 20% em deposição e apenas 10% se encontravam em relativa estabilidade (BIRD, 1999). As razões para essa predominância de erosão ou retração da linha de costa no mundo foram atribuídas a causas naturais e antrópicas. Entretanto, a maioria dos autores acredita que a principal causa esteja mesmo relacionada à elevação do nível do mar durante o último século.

No Brasil, em estudo realizado em todos os estados costeiros, verificou-se que a erosão ocorre ao longo de toda a costa com predomínio sobre os processos de acreção, predominando ainda a situação de estabilidade (MUEHE, 2006). Por um lado, a baixa declividade de grande parte da plataforma continental interna sinaliza uma ampla resposta erosiva, no caso de uma elevação do nível do mar. Enquanto que por outro lado, grande parte do relevo costeiro como as falésias e os recifes reduz esse impacto. Os estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte e Rio Grande do Sul apresentam os casos mais severos de erosão praias.

### 2.2.1 Principais causas

Embora a erosão costeira seja essencialmente produto de um balanço sedimentar negativo no sistema praias, essa situação é decorrente de diversos processos e fenômenos que podem ser atribuídos a fatores naturais e fatores antrópicos. Em geral, ambos interagem entre si o tempo todo no condicionamento da erosão costeira, sendo frequentemente difícil identificar quais são aqueles mais ativos, ou mesmo individualizar a atuação de cada um. Uma síntese das causas naturais e antrópicas de erosão costeira no Brasil é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 01** – Causas naturais e antrópicas da erosão costeira no Brasil (modificado de SOUZA *et al.*, 2005)

<b>CAUSAS DA EROSÃO COSTEIRA</b>	
NATURAIS	
<p><b>1. Dinâmica de circulação costeira:</b> presença de zonas de barlamar ou centros de divergências de células de deriva litorânea</p>	<p><b>7. Balanço sedimentar negativo:</b> originado por processos naturais individuais ou combinados</p>
<p><b>2. Morfodinâmica praial:</b> praias intermediárias tem maior mobilidade e suscetibilidade à erosão costeira, seguidas das reflexivas de alta energia, dissipativas de alta energia, reflexivas de baixa energia, dissipativas de baixa energia e ultradissipativas</p>	<p><b>8. Elevações do nível relativo do mar de curto período:</b> devido a efeitos combinados da atuação de sistemas frontais e ciclones extratropicais, marés de sizígia, e elevações sazonais do NM, resultando nos mesmo processos da elevação do Nm de longo período</p>
<p><b>3. Fisiografia costeira:</b> irregularidades na linha de costa dispersando as correntes e sedimentos para o largo; praias que recebem maior impacto de ondas de maior energia</p>	<p><b>9. Efeitos atuais da elevação do nível relativo do mar:</b> durante o último século em taxas de 30 cm: forte erosão com retração da linha de costa</p>
<p><b>4. Presença de amplas zonas de trânsito de sedimentos:</b> (by-pass) contribuindo para a não permanência dos sedimentos em certos segmentos da praia</p>	<p><b>10. Efeitos secundários da elevação do nível do mar de longo período:</b> princípio ou regra de Bruun e migração do perfil praial rumo ao continente</p>
<p><b>5. Armadilhas de sedimentos e migração lateral:</b> desembocaduras fluviais ou canais de maré; efeito "molhe hidráulico"; depósitos de sobrelevagem; obstáculos fora da praia</p>	<p><b>11. Evolução quaternária das planícies costeiras:</b> balanço sedimentar de longo prazo negativo e dinâmica e circulação costeira atuante na época</p>
<p><b>6. Inversões da deriva litorânea resultante:</b> causada por fenômenos climáticos-meteorológicos intensos:</p>	<p><b>12. Fatores tectônicos:</b> subsidências e soerguimentos da planície costeira</p>
ANTRÓPICAS	
<p><b>13. Urbanização da Orla:</b> com destruição de dunas e/ou impermeabilização de terraços marinhos holocênicos e ocupação pós-praia</p>	<p><b>15. Balanço sedimentar atual negativo:</b> decorrentes de intervenções antrópicas</p>

<p><b>14. Implantação de estrutura rígidas ou flexíveis paralelas ou transversais à linha de costa:</b> espigões, molhes, enrocamentos, píeres, quebra-mares, muros, etc.</p>	<p><b>16. Retirada de areia da praia:</b> por: mineração, limpeza pública, dragagens e outros. Resultando em déficit sedimentar na praia e/ou praias vizinhas</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

A Tabela 01 mostra as principais causas da erosão costeira. Alterações climáticas, interferindo na temperatura e em regimes de chuvas, ventos e ondas. A descaracterização do ambiente praias através da urbanização, obras de engenharia que aprisionam sedimentos, ou a retirada direta de sedimentos da zona costeira. Tais fatores, isolados ou em conjunto, por causas antrópicas e/ou naturais, são os agentes dos processos erosivos que atingem praias do mundo todo, e que resultam basicamente nos seguintes processos:

#### *Elevação do nível médio do mar*

A elevação do nível médio global do mar relaciona-se com a variabilidade climatológica natural da Terra e com as perturbações induzidas pelas atividades humanas (MARTINS; URIEN, 2004).

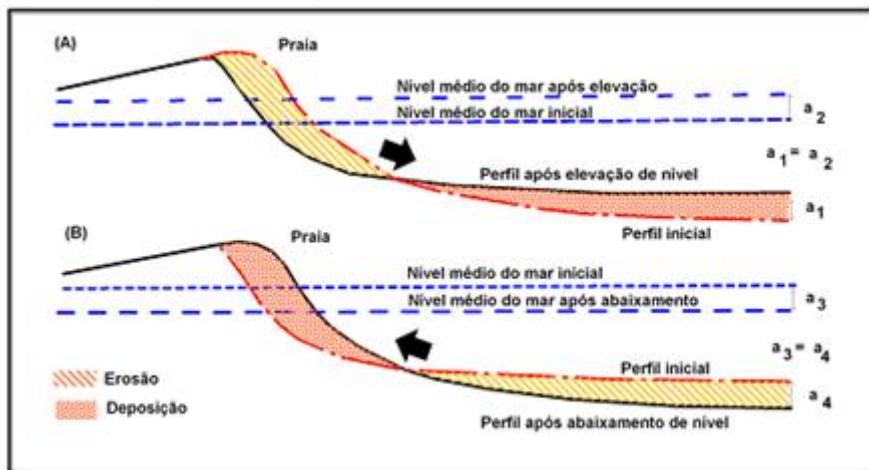
As consequências, no litoral, da subida gradual do nível relativo do mar, dependem das características tipológicas do trecho costeiro considerado, nomeadamente da existência de afloramentos de rochas bem consolidadas, das características das acumulações sedimentares, da inclinação média da praia, da presença de campos de dunas, da frequência dos temporais, etc. (DIAS, 1993).

Estimativas recentes (ANDRADE, 1990; FERREIRA *et al.*, 1990) sobre a percentagem de recuo da linha de costa diretamente atribuível à atual elevação do nível do mar revelam valores relativamente modestos. Assim, essa elevação poderia justificar, no máximo 15 a 30% do recuo verificado da linha de costa em litorais arenosos.

Um dos aspectos de constante desafio na compreensão da relação entre as variações relativas do nível do mar e a erosão costeira é a sua quantificação. Ao longo dos anos, desde o trabalho de Bruun (1962), foram formulados muitos modelos, visando um melhor entendimento dessa relação. Vários desses mecanismos foram aplicados na costa leste dos Estados Unidos, todos eles indicando claramente que cada centímetro de elevação do nível do mar será acompanhado pela perda de 1 metro de praia (MARTINS; URIEN, 2004).

Na Figura 02, exemplifica-se a consequência da elevação do nível do mar no perfil praias, segundo a regra de Bruun (1954). Vale ressaltar que embora tal fenômeno tenha sido descrito para elevações do nível do mar de longo período, o mesmo ocorre durante elevações de curto período, como as ressacas (marés meteorológicas ou de tempestade).

A teoria assume que para essa variação, o perfil da praia alcance o equilíbrio ao passo que o volume do sedimento erodido da antepraia superior seja igual ao volume depositado na antepraia inferior, e a elevação da deposição deve ser igual à elevação do nível do mar, havendo assim, uma compensação do transporte de sedimentos dentro do perfil admitindo para isto, a ocorrência apenas do transporte transversal.



**Figura 02** - Princípio ou Regra de Bruun (modificado de BRUUN, 1954).

### *Balanco sedimentar negativo*

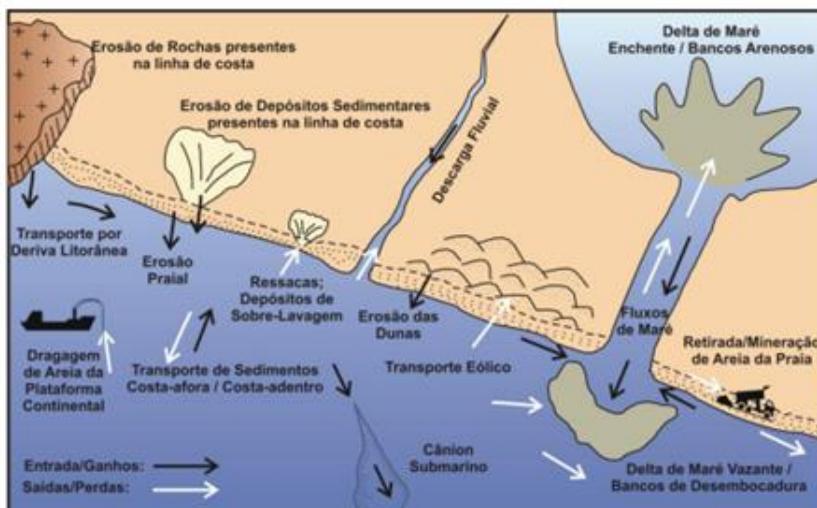
A região do ambiente praial onde ocorrem as trocas de sedimentos e consequentes mudanças morfológicas é chamada de prisma praial. Esta se limita entre a profundidade de fechamento e alguma mudança na fisiografia brusca da praia (MENEZES, 2008). O balanço sedimentar de uma praia é a relação entre as saídas e as entradas de sedimentos no prisma praial. Assim, quando o balanço sedimentar na praia for negativo, ou seja, quando a perda de sedimentos é maior do que o ganho de sedimentos, haverá um déficit sedimentar, predominando a erosão da praia, com diminuição paulatina de sua largura e a retração da linha de costa (SOUZA, 2009).

Bowen e Inman (1966) resumiram as principais fontes e perdas de sedimentos existentes em um balanço sedimentar litorâneo (Tabela 02). Em geral, o transporte sedimentar litorâneo ao longo da costa, a descarga fluvial e a erosão de costões promovem os maiores aportes de sedimentos para um sistema praial; o transporte de sedimentos ao longo da costa para fora do sistema praial, o transporte de sedimentos pelas correntes de retorno e o

transporte pelo vento em direção à costa para formar as dunas são as principais formas de perda ou débito de sedimentos em um sistema praial (Figura 03).

**Tabela 02** – Balanço sedimentar litorâneo (BOWEN; ILMAN, 1966)

Fonte	Débito	Balanço
Transporte de sedimentos por correntes ao longo da costa para a praia	Transporte de sedimentos por correntes ao longo da costa para fora da praia	Deposição e erosão praial
Descarga fluvial	Transporte eólico para formação das dunas	
Transporte de sedimentos da plataforma continental	Transporte de sedimentos para a plataforma continental	
Transporte eólico para a praia		
Alimentação praial		



**Figura 03** – Balanço sedimentar de uma praia (modificado de NOAA, 2007)

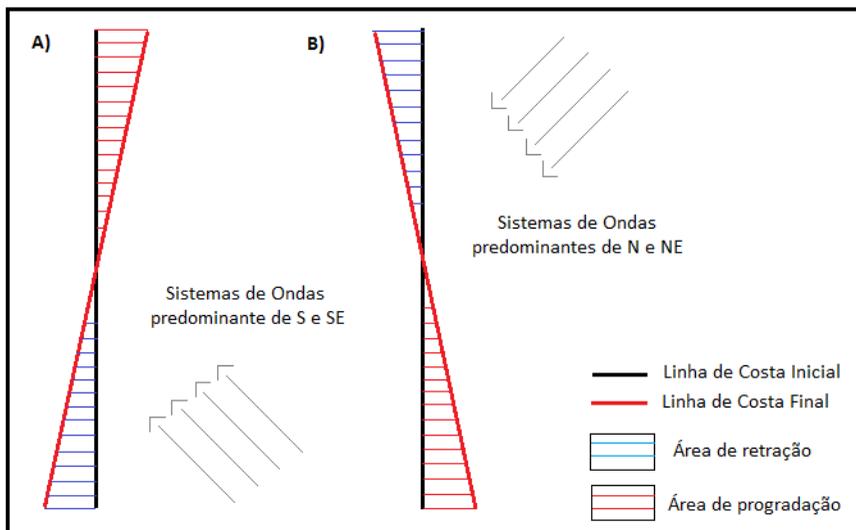
Em uma praia em estabilidade dinâmica, ou seja, que não apresente variação da sua linha de costa por processos erosivos ou acrescivos pode-se afirmar que o volume sedimentar colocado nesta praia pelas fontes é semelhante ao volume retirado pelas perdas sedimentares (MENEZES, 2008).

O balanço de sedimentos é, normalmente, utilizado em projetos de engenharia costeira e estudos científicos para ampliar o conhecimento das fontes, perdas, direção e magnitude de transporte de sedimentos para uma região selecionada e por um período de tempo determinado (ROSATI, 2005).

*Inversões da deriva litorânea resultante*

A baixa amplitude de maré (< 2 metros) no litoral catarinense, permite que a ação das ondas tenha papel predominante na configuração morfológica do litoral, bem como, no transporte de sedimentos. A forma em planta de Praias de Enseada se deve a diversos processos, onde o Fenômeno de Rotação Praial se encaixa como de grande importância. De acordo com a literatura este consiste em um ajuste de pequena à média escala ocasionado por mudanças hidrodinâmicas, de acordo com o clima de ondas.

Short e Masselink (1999) referem-se a este fenômeno como um movimento periódico lateral de areia, nas duas direções, em uma Praia de Enseada, manifestando uma aparente 'rotação' na forma em planta da praia. Este fenômeno, na maioria dos casos, é atribuído a sazonalidade ou a mudanças periódicas no clima de ondas, principalmente em sua direção. As ondas chegam à costa em determinada direção, induzindo o transporte ao longo desta, ocasionando eventualmente o acúmulo de areia na extremidade oposta da praia. Uma mudança na direção do aporte das ondas ocasiona em um acúmulo reverso (Figura 04).



**Figura 04** – Esquematização do comportamento de uma praia com sentido Norte-Sul frente aos Sistemas de Ondas dominantes.

Os estudos sobre o Fenômeno normalmente vêm acompanhado de análise de clima de ondas, visto que estes são diretamente dependentes. Outro tipo de análise que acompanha estes estudos são os perfis praias, pois existem duas formas de visualização de Rotação: cálculo de volume de sedimento acumulado/erodido junto aos promontórios e evolução de linha de costa.

### 2.2.2 Técnicas de detecção

Para a análise e quantificação de processos de erosão praial, os principais métodos utilizados são os seguintes (CARNEIRO *et al.*, 2003):

#### 1) *Uso de tecnologias de geoinformação:*

Consiste na aquisição, no processamento, na interpretação e na análise de dados topográficos. Envolve as seguintes tecnologias: GPS (Sistema de Posicionamento Global); cartografia digital; tecnologias de SIG (Sistema de Informação Geográfica); levantamentos aéreos ou orbitais, entre outros. Após o processamento dos dados obtidos em campo em diferentes datas, é possível verificar o avanço ou recuo da linha costeira ao longo do período considerado. Este método apenas permite analisar a evolução da parte emersa do sistema praia-duna, não fornecendo nenhuma informação acerca do que se passa na zona submersa (MENDES; PINHO, 2008).

As taxas de recuo da linha de costa constituem um dos melhores índices de erosão costeira quando esta atinge estádios avançados. Na maior parte dos casos, este índice é mais explícito e, frequentemente, mais fiável do que a avaliação da área perdida ou do volume erodido (DIAS, *et al.* 2005).

Todavia, os valores determinados para as taxas médias de variação da linha de costa têm de ser analisados com preocupação, já que correspondem à comparação de duas situações diferenciadas no tempo, não refletindo o que se verificou entre essas duas situações nem a eventual excepcionalidade de uma dessas situações (DIAS, *et al.* 2005).

Apesar de todas as condicionantes aludidas, as taxas médias de variação da linha de costa constituem um índice insubstituível e de valor excepcional quer para a determinação das tendências evolutivas do litoral, seja para avaliar os impactos reais de fatores perturbadores da dinâmica sedimentar costeira, ou para efetuar o diagnóstico de qualquer trecho do litoral (DIAS, *et al.* 2005). Procura-se diminuir esta dificuldade, estendendo os trabalhos de

monitoramento à zona submersa, utilizando-se técnicas de levantamento batimétrico (MENDES; PINHO, 2008).

Atualmente o método mais amplamente utilizado no mundo para analisar a variação da linha de costa através de imagens aéreas é o *software Digital Shore Analysis System (DSAS)*. Esta ferramenta funciona como uma extensão do programa *ArcGIS* e permite o usuário calcular as taxas de variação utilizando seis diferentes formulações.

### 2) *Estudos dos perfis de praia e comparação com os perfis de equilíbrio:*

É baseado no conceito de perfil de equilíbrio. Este perfil procura traduzir a forma da praia para um determinado estado de agitação constante e para uma determinada granulometria da areia. Assim, num período de tempo em que o regime de agitação se apresente constante, é possível estimar, através de modelos matemáticos teóricos, o perfil de praia resultante. Esse perfil de praia só deixará de ser válido quando o regime de agitação ou a granulometria da areia se alterar. Vários autores propuseram formulações que pretendem modelar este perfil. A análise do estado de erosão de um determinado trecho consiste na comparação do perfil atual com o perfil teórico, permitindo concluir-se se o trecho se encontra em erosão, acreção ou estável (MENDES; PINHO, 2008).

### 3) *Estudo e quantificação do transporte de massa ao longo das praias:*

Diversos têm sido os métodos e equipamentos utilizados no estudo do comportamento dos sedimentos dentro da zona de surfe e no espraiamento. Segundo White (1998) se destacam os métodos de acumulação (*Impoundment*), traçadores radiativos e fluorescentes, ‘traps’, sensores óticos e acústicos submersos e os modelos numéricos.

O método de acumulação utiliza estruturas naturais ou antrópicas impostas transversalmente ao fluxo dos sedimentos permitindo a avaliação das taxas de transporte através da medição dos volumes de sedimentos acumulados ou erodidos do seu costado durante um determinado período. Embora ofereça uma boa estimativa das taxas de transporte longitudinal médio para períodos longos de observação, apresenta como principal desvantagem a contaminação dos fluxos longitudinais pelo transporte transversal, com grande dificuldade de separação (WATTS, 1953 e BEREK; DEAN, 1983).

Traçadores radiativos e fluorescentes foram largamente utilizados embora hoje o seu uso (principalmente os radiativos) tenha diminuído muito devido aos riscos para o ambiente e a saúde. Por muito tempo este foi o único

método de medição das taxas de transporte de curto prazo (horas ou poucos dias) que permitiu o cálculo da distribuição transversal do transporte longitudinal ao longo da zona de surfe. Sua principal desvantagem consiste na dificuldade em oferecer reprodutibilidade dos resultados, já que é praticamente impossível obter dados consistentes monitorando o deslocamento do centróide do traçador em eventos sucessivos (INMAN; CHAMBERLAIN, 1959 e BANDEIRA, 1972).

O desenvolvimento e uso de ‘traps’ (WANG *et al.*, 1998) para medições junto ao fundo e em suspensão, na zona de surfe e no espraiamento, é uma forma barata e segura de substituição do uso de traçadores na obtenção de resultados de curto prazo. Sua principal desvantagem está na determinação do tempo de coleta mínimo capaz de representar adequadamente o transporte desejado e a impossibilidade de sua utilização durante eventos meteorológicos extremos.

Os equipamentos eletrônicos mais comuns são os sensores óticos (OBS) de medição pontual que servem para determinar os níveis de concentração de sedimentos em suspensão (PETERS; DETTE, 1999). Com essa finalidade também podem ser utilizados sensores acústicos de múltipla frequência (*Schat-profiler*), entretanto nos dois casos, as taxas de transporte somente podem ser determinadas se acompanhadas dos valores das correntes longitudinais. A desvantagem é o custo elevado e a dificuldade de calibração para responder as necessidades ambientais específicas.

## **2.2 Modelagem numérica – Delft3D**

Uma das opções para o melhor entendimento da hidrodinâmica de um corpo d’água é o seu modelamento numérico. A modelagem numérica mostra-se como uma importante ferramenta para o conhecimento dos processos dinâmicos, auxiliando na interpretação de medições pontuais e servindo como base para a simulação de cenários.

Um modelo é uma expressão simplificadora da realidade, no qual estão representadas as principais variáveis que definem e controlam os processos físicos reais que acontecem na natureza. O modelo não pode imitar todos os fenômenos subjacentes que controlam esses processos. Sua validade depende da eficiência com que os parâmetros selecionados para representar esses fenômenos físicos sejam incorporados ao modelo (TUCCI, 1998).

Autores como Wiegert (1975) e Jorgensen (1994) ressaltam que modelos matemáticos têm grande valor no preenchimento de lacunas de informações disponíveis, análise de fluxos dentro de diferentes compartimentos e no estudo dos processos ambientais. Segundo estes autores os modelos se

tornaram úteis devido à extrema dificuldade de medir todos os processos simultaneamente, pela impossibilidade de testar hipóteses em campo e pela dificuldade de obter séries temporais longas e confiáveis.

Neste trabalho, optou-se pela utilização do pacote Delft3D, desenvolvido pela empresa *Deltares* em cooperação com *Delft University of Technology* (TU Delft). Será utilizado o módulo de propagação de ondas (SWAN), inicialmente para propagar as ondas de águas profundas para águas rasas. E posteriormente, em modo acoplado ao módulo hidrodinâmico (*Flow*), a fim de definir padrões de transporte sedimentar e alterações morfológicas para diferentes sistemas de onda.

O modelo SWAN é uma derivação dos modelos de geração e propagação espectral, com formulações que se aplicam aos processos de ondas em águas rasas, tais como fricção com o fundo, difração e quebra de onda. Sua resolução na grade numérica é realizada através da equação do balanço de ação (BOOIJ *et al.*, 1999), derivada da equação do balanço de energia e sua comunicação com fluxo de correntes. Ao mesmo tempo em que este alimenta o modelo hidrodinâmico através de correntes geradas por onda (tensor de radiação e viscosidade turbulenta) pela transferência de energia em águas rasas, recebe os dados do modelo hidrodinâmico de forma a representar processos mútuos de correlação (e.g. difração gerada por correntes) (Delft3D-Wave, 2007). Também se comunica com o módulo hidrodinâmico no âmbito de transporte sedimentar.

Os módulos contidos no modelo hidrodinâmico, essencialmente três (hidrodinâmica, transporte de sedimentos e morfologia), operam de forma a representar os processos de retro-alimentação observados nos ambientes naturais. A hidrodinâmica em si, forçada por marés ou por ondas, caracteriza-se através de formulações extensivamente testadas e validadas. O modelo resolve um sistema de equações de águas rasas em modo bidimensional (ou integrado na vertical) e tri-dimensional. O sistema de equações consiste nas equações horizontais de movimento (momentum), na equação de continuidade, equações de transporte para constituintes conservativos e um modelo de fechamento turbulento. A equação vertical de momentum é reduzida à relação de pressão hidrostática e as acelerações verticais são assumidas como sendo pequenas em relação à aceleração da gravidade. Isso faz com que o Delft3D-Flow seja adequado para a predição de fluxos em mares rasos, áreas costeiras, estuários, lagos, rios e lagoas (Delft3D-Flow, 2007).

Os processos hidrodinâmicos e de ondas, por sua vez, alimentam o módulo de transporte de sedimentos, o qual suporta transporte por suspensão e por carga de tração para sedimentos não coesivos, e suspensão para sedimentos coesivos. Enquanto que o cálculo do transporte por tração é solucionado pela

transferência de momento do fluido para o sedimento, aquele referente a carga em suspensão é formulado por equações de advecção e difusão. Quanto a ondas, o transporte é incorporado através da energia média ao longo da coluna de água pela quebra, fluxo de massa e aumento na tensão de cisalhamento no fundo. O transporte de massa é corrigido através da deriva de Stokes de segunda ordem, enquanto que a quebra é associada a energia turbulenta e equações de dissipação do fechamento turbulento e a tensão de cisalhamento associa-se as correntes geradas por onda (Delft3D-Flow, 2007).

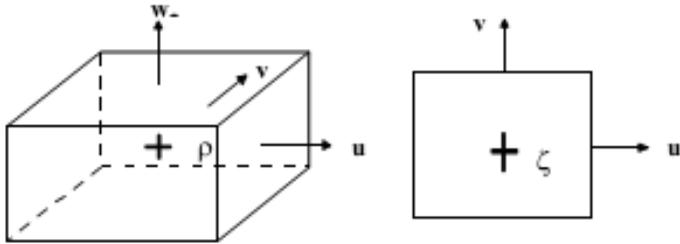
A alteração na morfologia é gerada através do balanço de sedimentos dentro de cada célula da grade de cálculo. O mesmo é uma relação entre o volume de entrada e saída de sedimentos na célula através dos dois modos de transporte apresentados acima. O volume líquido é associado a dimensão da célula, gerando taxas de erosão ou deposição que se acumulam ao longo da simulação.

### 2.2.1 Delft-RGFGRID

O Delft3D é um modelo numérico baseado em diferenças finitas e adota um sistema de grade chamado *staggered grid*. As variáveis que descrevem o fluxo, nível d'água e as componentes de velocidade ( $u$ ,  $v$ ,  $w$ ), são distribuídas numa grade Arakawa Tipo C, onde as elevações da água são definidas no centro da célula, enquanto que as componentes da velocidade são definidas nas faces das células. Este modelo de arranjo das variáveis na grade é denominado grades escalonadas, que possuem algumas vantagens, como (DELFT3D-RGFGRID, 2007):

- condições de contorno podem ser implementadas mais simplesmente;
- é possível utilizar um número menor de variáveis de estado discretos em comparação com a discretização de grades não escalonadas, para obter a mesma acurácia;
- grades escalonadas evitam oscilações espaciais na elevação da água.

Para discretizar as equações tridimensionais de águas rasas no espaço, a área modelada é coberta por uma grade curvilínea, esférica ou retangular. Assume-se que a grade computacional é ortogonal e estruturada. Para a discretização das equações tridimensionais para águas rasas as variáveis são arranjadas de uma maneira especial na grade. Nesta grade os pontos de elevação (pontos de pressão) estão definidos no centro da célula e as componentes da velocidade são perpendiculares aos lados da grade, como demonstrado na Figura 5.



**Figura 5** – Distribuições dos pontos de pressão e componentes da velocidade utilizadas no sistema de grade do Delft3d

O módulo RGFGRID é o módulo utilizado para criar, modificar e visualizar malhas computacionais. A grade no plano horizontal pode ser ortogonal ou curvilínea, sendo que grades curvilíneas proporcionam maior flexibilidade, possibilitando o aumento de resolução em áreas de complicada batimetria e/ou grandes gradientes de velocidade. Estas características aumentam a precisão e eficiência computacional. Este módulo oferece a possibilidade de visualizar dados batimétricos e, portanto pode-se ter noção das características da topografia enquanto desenha-se a malha. As malhas existentes também podem ser carregadas e visualizadas enquanto desenha-se uma nova, permitindo copiar partes da malha antiga na nova (DELFT3D-RGFGRID, 2007).

Para minimizar erros na aproximação de diferenças finitas nas equações do modelo, algumas propriedades devem ser consideradas no sistema de grade (DELFT3D-RGFGRID, 2007):

- *Ortogonalidade*: indica a perpendicularidade da grade ao longo da direção horizontal (direções x e y). O erro de ortogonalização é proporcional ao valor do cosseno do ângulo interno entre os lados da célula. definida como o cosseno do ângulo fechado. Para a eficiência computacional, a ortogonalidade da grade deve ser suficientemente alta. Recomenda -se que a ortogonalidade seja mantida em valores inferiores a 0,04;
- *Resolução*: é indicada pela raiz quadrada da área da célula da grade e deve ser determinada de acordo com o tamanho da área de interesse. A resolução da malha deve variar suavemente o tamanho de uma célula não deve ser maior de 1,4 vezes a célula adjacente.
- *Gradiente espacial*: resulta da proporção entre os comprimentos da célula nas direções M e N. M e N são as coordenadas locais do sistema de grade com a origem situada no canto inferior esquerdo da grade. Recomenda -se manter o gradiente em valores inferiores a 1,2.

### 2.2.2 Delft3D Wave - SWAN

A descrição do modelo SWAN aqui apresentada, seguiu Houlthuijsen (2007).

O SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) é um modelo espectral que resolve a equação da conservação da energia das ondas, considerando todas as fontes e sumidouros. É classificado como um modelo de terceira geração, de uso livre, que trabalha com malhas ortogonais e curvilíneas com um esquema de diferenças finitas. Ele resolve adequadamente os processos de refração, empinamento, interação onda-corrente, interações não lineares onda-onda e dissipação por *whitecapping*.

Com o objetivo de representar a difração no modelo SWAN, Holthuijsen *et al.* (2003) incluíram uma aproximação da equação da pendente suave (*mild slope equation*) para o termo da equação de balanço de ação referente ao gradiente direcional ( $\partial C_{\theta}N/\partial\theta$ ). Para realizar este procedimento, tornou-se necessária a adaptação da equação de Berkhoff (1972) na equação do balanço de energia, traduzida em conjunto com o termo de refração acima. Resultados foram satisfatórios quando comparados a valores observados em um tanque de ondas, apresentando mais semelhança a estes quando aplicados ambos processos de difração e refração.

Sendo o SWAN um modelo de terceira geração possui a capacidade de interpretar e tratar o espectro de agitação como a sobreposição de um conjunto de ondas numa determinada área, sendo que cada uma destas ondas é caracterizada por uma frequência própria. Isto permite que cada frequência seja resolvida individualmente a partir da teoria linear da onda. Assim, torna-se possível obter a descrição estatística da superfície livre do mar através do espectro de variância de densidade ou pela variância da energia, distribuindo a energia das ondas por frequências.

A evolução do espectro de onda é descrita pela equação de balanço de energia espectral, para coordenadas cartesianas é (Eq. 1):

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_{\sigma} N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_{\theta} N = \frac{S}{\sigma} \quad (\text{Eq. 1})$$

O primeiro termo (da esquerda para a direita) representa a taxa de variação local da ação da densidade no tempo, o segundo e o terceiro termo representam a propagação da ação no espaço geográfico (com velocidade de propagação  $C_x$  e  $C_y$  no espaço  $x$  e  $y$ , respectivamente). O quarto termo representa o deslocamento da frequência relativa devido as variações de

profundidade e correntes (com a propagação da velocidade  $C\sigma$  no espaço  $\sigma$ ). O quinto termo representa a refração induzida pela profundidade e corrente (com a propagação da velocidade  $C\Theta$  no espaço  $\Theta$ ). O termo  $S$ , no lado direito da equação, representa os efeitos da geração, dissipação e interação não-linear onda-onda. Maiores detalhes sobre as formulações que representam esses processos serão dadas a diante.

### *Propagação*

Quando a onda oceânica se propaga desde a zona de geração até ao local onde se dá a dissipação da sua energia, normalmente em zonas costeiras, a variação da profundidade do fundo oceânico e outros fatores ambientais são fatores fundamentais a ter em conta, pois afetam em vários aspectos a caracterização da agitação marítima, originando fenômenos como o empolamento, a refração, a difração, a interação entre as correntes, as ondas e a rebentação.

Para proceder ao cálculo da refração recorre-se à aproximação Euleriana que discretiza o espaço geográfico em várias células. Esta aproximação requer o valor da velocidade de mudança de direção da onda.

Como foi referido, as ondas são afetadas na sua direção, frequência e amplitude quando se propagam num meio que tem presente correntes marítimas, quer sejam de maré ou longitudinais, entre outras. A teoria linear é válida para a análise deste novo meio, desde que se considerem a profundidade e as correntes presentes constantes, no espaço e no tempo. A frequência absoluta “ $\omega$ ” resulta, assim, da soma de duas parcelas: a frequência relativa e o produto do número de onda “ $k$ ” com o vetor representativo da velocidade da corrente “ $u$ ” em que “ $\sigma$ ” é a frequência que figura na relação de dispersão (Eq.2) :

$$\omega = \sigma + \vec{k} \cdot \vec{u} \quad (Eq. 2)$$

Ao considerar que a profundidade e a velocidade das correntes presentes são constantes, induz-se que tanto as frequências relativas como absolutas também o são. Analogamente, se a profundidade ou velocidade variam, as frequências também variam.

A presença de correntes na agitação marítima é considerada pelo modelo matemático SWAN, através das seguintes expressões para a velocidade de propagação da energia da onda  $c_g + u$ ,  $c_\theta$  e  $c_\sigma$  no plano cartesiano  $x$ ,  $y$ , no espaço definido por  $\theta$  e no espaço da frequência relativa,  $\sigma$  (Eq. 3, 4 e 5):

$$\frac{dx}{dt} = c_g + \vec{u} = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right] \frac{\sigma \vec{k}}{|k|^2} + \vec{u} \quad (\text{Eq.3})$$

$$\frac{d\theta}{dt} = c_\theta = -\frac{1}{k} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial m} + \vec{k} \frac{\partial \vec{u}}{\partial m} \right] \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\frac{d\sigma}{dt} = c_g = \frac{\partial \sigma}{\partial h} \left( \frac{\partial h}{\partial t} + \vec{u} \nabla h \right) - c_g \vec{k} \frac{\partial \vec{u}}{\partial s} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde o parâmetro “s” é o deslocamento na direção de propagação, “h” a profundidade e “m” o deslocamento na perpendicular. O operador (d/dt) refere-se à derivada total no espaço da propagação da energia da onda (Eq. 6):

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + (c_g + \vec{u}) \nabla - \vec{x} \quad (\text{Eq. 6})$$

### Dissipação de Energia

O termo de dissipação de energia da onda é representado pelo somatório de três diferentes contribuições: *whitcapping*  $S_{ds,w}(\sigma, \Theta)$ , atrito de fundo (*bottom friction*)  $S_{ds,b}(\sigma, \Theta)$ , e quebra induzida pela profundidade (*depth-induced breaking*)  $S_{ds,br}(\sigma, \Theta)$ .

*Whitcapping* é controlado principalmente pela inclinação das ondas, e nada mais é do que a quebra de ondas em águas profundas por superar o valor de esbeltez máxima. No SWAN, sua formulação é baseada no “*pulse-based model*” de Hasselmann (1973) (Eq. 7):

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \sigma + \frac{k}{k} E(\sigma, \theta) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde  $\Gamma$  é um coeficiente dependente da declividade,  $k$  é o número de onda, e  $\sigma$  e  $k$  denotam a frequência média e o número de ondas médio respectivamente (WAMDI Group, 1988). Komen *et al.*, (1994), estimou o valor de  $\Gamma$  pelo balanço de energia das ondas em condições bem desenvolvidas. Logo, o valor deste coeficiente, dependente do tipo de formulação usada para a representação dos ventos. Como para este fim são utilizadas duas expressões, o coeficiente  $\Gamma$  também vai assumir dois diferentes valores. O modelo SWAN utiliza a formulação dada por Komen *et al.* (1994).

Em águas menos profundas os movimentos orbitais das partículas líquidas estendem-se ao fundo. O atrito de fundo surge assim, no contexto da transferência de energia, como resultado da interação das partículas líquidas com o fundo. Para mares de plataforma continental com fundo de areia, o

principal mecanismo de dissipação induzida pelo fundo é a fricção de fundo (*bottom friction*), e pode ser representada por (Eq. 8):

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) \quad (Eq. 8)$$

Onde  $C_{bottom}$  é um coeficiente de atrito de fundo. Diversos autores elaboraram formulações a fim de obter tal coeficiente. Porém, devido a alta variabilidade das condições de fundo nas zonas costeiras, não há evidência clara para se dar preferência a um modelo em especial. Por esta razão, a forma mais simples de cada um de três modelos é implementada no SWAN:

- O modelo empírico JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*) de Hasselmann *et al.* (1973), com  $C_{bottom} = 0.038 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$  para condições de swell e  $C_{bottom} = 0.067 \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$  para condições de vaga.
- O modelo “*drag law*” de Collins (1972), com  $C_{bottom} = C_f g U_{rms}$ .
- O modelo “*eddy-viscosity*” de Madsen *et al.* (1988), com  $C_{bottom} = f_w g U_{rms} / \sqrt{2}$

O efeito de uma corrente média na dissipação de energia das ondas devido ao atrito de fundo não é levado em conta no SWAN. As razões para isto é que as expressões variam muito em seus efeitos para serem consideradas aceitáveis. Ele concluiu que o erro em encontrar uma estimativa correta do parâmetro de rugosidade do fundo tem um impacto muito maior sobre a taxa de dissipação de energia do que o efeito de uma corrente média.

À medida que a profundidade diminui, a energia da onda concentra-se de tal forma que surge um dado instante em que a onda rebenta, dissipando rapidamente energia. No modelo, a formulação utilizada para descrever o efeito do processo de quebra de onda induzida pela profundidade (*depth-induced breaking*) é expressa por (Eq. 9):

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = -\frac{S_{ds,br,tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta) \quad (Eq. 9)$$

Onde  $E_{tot}$  é a energia de onda total e  $S_{ds,br,tot}$  representa a taxa de dissipação de  $E_{tot}$  devido a quebra de onda (BATTJES; JANSSEN, 1978). O valor de  $S_{ds,br,tot}$  depende fortemente do parâmetro de quebra  $\gamma = H_{max}/d$  (onde  $H_{max}$  é a máxima altura de onda individual possível na profundidade  $d$ ). No SWAN o valor constante é  $\gamma = 0,73$  e valores variados dependendo da inclinação do fundo também são usados.

### 2.2.2.1 Método hipercubo

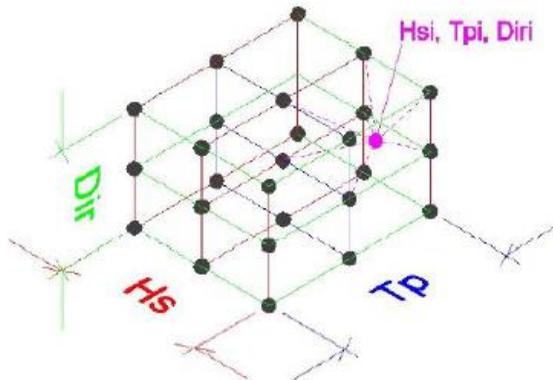
O método de transferência de séries de águas profundas para águas rasas, conhecido como método do hipercubo, é uma técnica amplamente testada e validada (CAMUS, 2009; PEREZ, 2010; SIGNORIN, 2010; BONANATA, *et al.* 2010; ROGACHESKI, 2010; SOARES, 2011), desenvolvida pelo Instituto de Hidráulica da Universidade de Cantábria (IH-Cantabria). O hipercubo funciona basicamente como uma técnica de interpolação linear em 3 dimensões. Ao ser aplicado aos parâmetros da onda e os coeficientes de propagação com características direcionais, o modelo permite reconstruir a série temporal em águas rasas com o mesmo volume de dados da série original em águas profundas.

Com os resultados da propagação de uma série de estado do mar com diferentes combinações de  $H_s$ ,  $T_p$  e  $Dir$ , de águas profundas para um ponto de interesse próximo à costa, é possível realizar uma interpolação linear tridimensional dos resultados para determinar os valores de  $H_{si}$ ,  $T_{pi}$  e  $Dir_i$  neste ponto para cada estado de mar da série original em águas profundas (Figura 6).

A metodologia consiste no cálculo dos valores dos coeficientes de propagação ( $K_p$ ) correspondentes a cada caso propagado (Eq. 10). A partir da interpolação linear tridimensional dos coeficientes de propagação é possível obter os parâmetros de onda para todos os casos da série temporal original:

$$K_p = \frac{H_s}{H_{sO}} \tag{Eq. 10}$$

- Sendo:  $K_p$ : coeficiente de propagação relativo ao caso propagado
- $H_s$ : altura de onda propagada pelo modelo
- $H_{sO}$ : altura de onda *offshore*



**Figura 6** - Esquematização da metodologia do hipercubo, na qual é obtida a informa em um determinado ponto (Hsi, Tpi, Dir) a partir dos dados interpolados de Hs, Tp e Dir.

### 2.2.2.2 Esquematização dos casos de ondas

Na maioria das praias expostas, as ondas são a principal força geradora de transporte de sedimentos (areia) e variações morfológicas. Os dados do clima de ondas de maneira geral consistem de uma grande série temporal de parâmetros que caracterizam estados de mar (altura significativa – Hs; período de pico – Tp; e direção de pico – Dp). O objetivo da redução dos dados de ondas aplicados no modelo é definir um número limitado de classes de ondas em águas profundas que reproduzam juntas o mesmo padrão e taxas de transporte residual de sedimentos que a série temporal de dados de ondas completa ao longo do período de interesse.

O número de casos de ondas simulados é reduzido e um fator de correção relacionado à frequência de ocorrência de cada classe de ondas é usado. Porém, é importante ter cuidado ao selecionar os casos de ondas (para que reproduzam os padrões de transporte) e arranjá-los ao longo da simulação (para reproduzir as feições batimétricas), caso contrário os resultados podem ser prejudicados (TESSLER, 2010).

A redução do clima de ondas em um grupo de condições de ondas representativas implica em erros nas simulações de transporte de sedimentos. Porém, dependendo do método de redução do clima de ondas utilizado, o número de casos de onda representativos selecionados e o objetivo da simulação, esses erros são aceitáveis.

Dobrochinski (2009) estudou a redução e esquematização de clima de ondas para modelagem morfológica. O trabalho comparou o resultado de simulações de transporte de sedimentos entre a simulação com a série temporal completa e com 5 métodos de redução, cada um com 30, 20, 12 e 6 casos de ondas representativas. Para as simulações com 12 condições de onda representativas, o método do fluxo de energia mostrou os menores somatórios de erros normalizados. Portanto, foi o escolhido a ser implementado neste trabalho.

O método do fluxo de energia é baseado diretamente no clima de ondas. Neste método os casos de ondas presentes na série temporal são divididos em classes de direção e alturas de onda, e cada classe possui um caso de onda representativo. Portanto, o número de casos de ondas representativos é o igual ao número de classes criadas. A frequência de ocorrência dos casos de ondas

representativos é relacionada com o número de casos de ondas da série temporal encontrado dentro das classes.

Este método de seleção de casos de ondas representativos é fundamentado em conceitos de fluxo de energia de ondas. O fluxo de energia de cada condição de onda da série temporal de dados é calculado com a seguinte equação (Eq. 11):

$$E_f = \left( \frac{\rho g H_s^2}{8} \right) C_g \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde  $\rho$  é a densidade da água ( $1025 \text{ kg/m}^3$ ),  $g$  é aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $H_s$  é a altura significativa da onda (m) e  $C_g$  é a celeridade de grupo de ondas (m/s), em águas profundas obtida por (Eq. 12), onde  $T$  é o período de onda (s):

$$C_g = \frac{1,56T}{2} \quad (\text{Eq. 12})$$

### 2.2.3 Delft3D Flow

A descrição do modelo hidrodinâmico – Flow aqui apresentada, seguiu (DELFT3D–FLOW, 2007).

O módulo hidrodinâmico do Delft3D é capaz de simular fluxos não estacionários em duas ou três dimensões, fenômenos de transporte resultantes de maré, descarga de água e efeitos meteorológicos, incluindo o efeito de diferenças de densidade devido a gradientes horizontais dos campos de temperatura e salinidade.

O Delft3D Flow resolve a equação de Navier-Stokes para um fluido incompressível, levando em conta a aproximação de águas rasas e Boussinesq. Na componente vertical da equação, a aceleração é desprezível quando comparada à aceleração gravitacional, sendo a equação do momento reduzida à relação hidrostática para o campo de pressão. Em modelos tridimensionais, as velocidades verticais resultam da equação da continuidade. O conjunto de equações diferenciais parciais, com condições inicial e de contorno apropriadas, são discretizadas utilizando o esquema de diferenças finitas.

Na horizontal estas equações podem ser formuladas em coordenadas cartesianas retangulares, ortogonais curvilíneas ou em coordenadas esféricas. No sistema de coordenadas curvilíneas, a superfície livre e a batimetria são referenciadas em relação a um plano horizontal de referência, enquanto que em

coordenadas esféricas o plano de referência segue a curvatura da Terra. (RIBAS, 2004)

Na direção vertical o modelo utiliza o sistema de coordenadas conhecido como sigma ( $\sigma$ ), considerando que a profundidade local é em função da posição e do tempo. Esta característica é importante quando se considera que a profundidade local pode sofrer variações apreciáveis devido ao estiramento e a contração da coluna de água, durante marés enchente e vazante em estuários de planície costeira por exemplo.

O domínio do modelo 3D para águas rasas é limitado no plano horizontal pelos contornos abertos e fechados (terra) e na vertical pelo número de camadas, sendo este número constante para qualquer região do plano, quando utilizado o sistema de coordenadas sigma ( $\sigma$ ). Para cada camada  $\sigma$  é resolvido um conjunto de equações da conservação da massa, sendo estas equações formuladas em coordenadas ortogonais curvilíneas.

No sistema de coordenadas sigma a profundidade local é dada por  $H=d+h$ , com  $d$  e  $h$  indicando a profundidade da superfície livre de repouso e a altura do nível do mar com relação a essa superfície, respectivamente. As flutuações periódicas da espessura da coluna de água fazem com que as medidas sejam feitas em diferentes níveis abaixo da superfície livre no decorrer de um ciclo completo de maré, causando distorções nas profundidades de amostragem. Estas distorções podem ser corrigidas convertendo a profundidade de amostragem a uma profundidade adimensional  $\sigma$ , representada pela Figura 7, e definida como (Eq. 13):

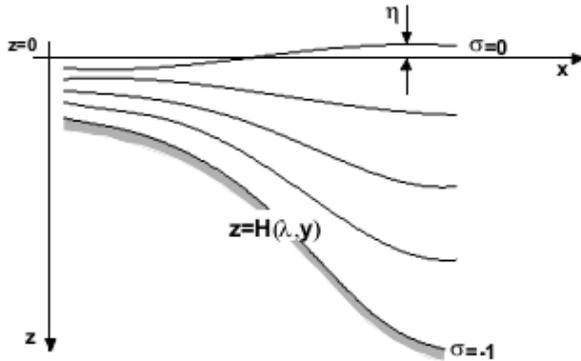
$$\sigma = \frac{z-\eta}{d+\eta} = \frac{z-\eta}{H} \quad (Eq. 13)$$

Onde:  $z$  = coordenada vertical no espaço físico;

$\eta$  = elevação da superfície livre em relação ao plano  $z=0$

$d$  = profundidade da coluna de água abaixo do plano de referência

$H$  = profundidade total da coluna de água  $H=d+\eta$



**Figura 7** – Esquema representativo do sistema de coordenadas

Com a introdução da profundidade adimensional,  $\sigma = 0$  e  $\sigma = -1$  indicam a superfície livre e o fundo, respectivamente, de forma que o sistema de coordenadas  $\sigma$  acompanha tanto a morfologia do fundo quanto a morfologia da superfície livre.

### *Equações hidrodinâmicas*

Os contornos de rios, estuários ou regiões costeiras em geral são curvos e não são bem representados por grades retangulares. Os contornos tornam-se irregulares e podem levar a erros significativos de discretização. Para reduzir esses erros em contornos ortogonais são usadas coordenadas curvilíneas.

Coordenadas curvilíneas também permitem refinar a grade localmente em áreas com grandes gradientes horizontais. Coordenadas esféricas são um caso especial de coordenadas ortogonais curvilíneas, com:

$$\begin{aligned}\xi &= \lambda \\ \eta &= \varphi \\ \sqrt{G_{\xi\xi}} &= R \cos \varphi \\ \sqrt{G_{\eta\eta}} &= R\end{aligned}$$

Onde:  $\lambda$  é a longitude,  $\varphi$  é a latitude e  $R$  é o raio da terra (6.370 km).

Na direção vertical, o sistema de coordenada sigma ( $\sigma$ ) é definido como (Eq. 14):

$$\sigma = \frac{z-\zeta}{d+\zeta} = \frac{z-\zeta}{H} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:  $z$  é a coordenada vertical no espaço físico,  $\zeta$  é a elevação da superfície livre acima do plano de referência (em  $z = 0$ ),  $d$  é a profundidade da

água abaixo do plano de referência e  $H$  é a profundidade total da água dada por (Eq. 15):

$$H = d + \zeta \quad (\text{Eq. 15})$$

No fundo  $\sigma = -1$  e na superfície livre  $\sigma = 0$ . O sistema de coordenadas  $\sigma$  é um sistema que se ajusta nas fronteiras, tanto no fundo como na superfície livre. As derivadas parciais, no sistema de coordenadas cartesianas originais, são expressas em coordenadas  $\sigma$  por meio da regra da cadeia, introduzindo alguns termos adicionais.

O domínio do fluxo no modelo 3D de águas rasas consiste em: plano horizontal para a área limitada composta de contornos abertos e fechados (terra); e em plano vertical (número de camadas). No sistema de coordenadas  $\sigma$  o número de camadas é o mesmo em todos os locais do plano horizontal. Para cada camada um conjunto de equações de conservação é resolvido.

O movimento dos fluidos está governado pelas leis da continuidade e da conservação do movimento. As equações são formuladas em coordenadas ortogonais curvilíneas. A escala da velocidade está no espaço físico e as componentes são perpendiculares às faces das células da grade curvilínea. A transformação da grade introduz termos de curvatura na equação do movimento.

A equação da continuidade é dada por (Eq. 16):

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial[(d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial[(d+\zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = Q \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde:  $Q$  representa a contribuição por unidade de área devido à descarga;  $d$  a profundidade da água abaixo do plano de referência;  $\zeta$  é a elevação da superfície livre acima do plano de referência;  $\sqrt{G_{\xi\xi}}$  e  $\sqrt{G_{\eta\eta}}$  são os coeficientes utilizados para transformar coordenadas curvilíneas em coordenadas retangulares;  $U$  e  $V$  são as componentes da velocidade integrada verticalmente na direção  $\xi$  e  $\eta$  respectivamente.

As equações do movimento nas direções  $\xi$  e  $\eta$  são dadas por (Eq. 17 e 18):

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - fv = \\ - \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_{\xi} + F_{\xi} + \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( v, \frac{\partial u}{\partial t} \right) + M_{\xi} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 17})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\omega}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} + fu = \\ - \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_{\eta} + F_{\eta} + \frac{1}{H^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( v, \frac{\partial v}{\partial t} \right) + M_{\eta} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 18})$$

Onde  $u$  e  $v$  representam a velocidade do fluido nas direções  $\xi$  e  $\eta$  respectivamente;  $\xi\xi G$  e  $\eta\eta G$  são os coeficientes utilizados para transformar coordenadas curvilíneas em coordenadas retangulares;  $H$  é a profundidade total da água;  $\sigma$  é a coordenada vertical;  $\xi F$  e  $\eta F$  representam os fluxos turbulentos;  $\xi P$  e  $\eta P$  são os gradientes de pressão hidrostática;  $\xi M$  e  $\eta M$  são as contribuições devido a fontes externas. As variações da densidade são negligenciadas, exceto nos termos de pressão baroclínica,  $\xi P$  e  $\eta P$  representam os gradientes de pressão. As forças  $\xi F$  e  $\eta F$  na equação do movimento representam o desequilíbrio na tensão horizontal de Reynolds. A velocidade vertical  $w$  do sistema de coordenadas  $\sigma$  é calculada com base na equação da continuidade.

### *Hipótese de pressão hidrostática*

Sobre a hipótese de águas rasas, a equação do movimento vertical é reduzida à equação da pressão hidrostática. As acelerações verticais devido aos efeitos de flutuação e devido às variações repentinas na topografia do fundo não são levadas em consideração. Então, para a direção vertical (Eq. 19):

$$\frac{\partial P}{\partial \sigma} = -g\rho H \quad (\text{Eq. 19})$$

Para a água com densidade constante e levando em consideração a pressão atmosférica, os gradientes de pressão são (Eq. 20 e 21):

$$\frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_{\xi} = \frac{g}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi} + \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial P_{atm}}{\partial \xi} \quad (\text{Eq. 20})$$

$$\frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_{\eta} = \frac{g}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \zeta}{\partial \eta} + \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial P_{atm}}{\partial \eta} \quad (\text{Eq. 21})$$

Os gradientes, no nível da superfície livre são chamados gradientes de pressão barotrópica.

### 2.2.3.1 Transporte de sedimentos

O transporte de sedimentos em suspensão na coluna de água é calculado utilizando a equação da advecção-difusão na sua forma tridimensional, da mesma forma que constituintes conservativos, como sal e calor, com algumas diferenças como: fluxo de sedimento entre o fundo e a coluna de água, e velocidade de queda do sedimento sobre a ação da gravidade. Também podem ser citados outros efeitos como: a influência do sedimento na densidade da água e a conseqüente redução da turbulência. Mudanças na batimetria de fundo, provocadas pela constante erosão/deposição de sedimentos, podem modificar o campo de velocidades, este efeito, embora acrescente custo computacional, pode ser levado em consideração nos cálculos. Estes processos dependem do tipo de sedimento envolvido, especialmente areia e argila, pois diferentes fórmulas serão utilizadas para os cálculos das velocidades de queda, erosão e deposição. Podem ser selecionadas diferentes frações de argila e areia, a interação de frações de sedimentos é importante para simular diversos processos.

A equação da advecção difusa é dada por (Eq. 22):

$$\frac{\partial c^l}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial vc^l}{\partial y} + \frac{\partial (w-w_s^l)c^l}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \varepsilon_{s,x}^1 \frac{\partial c^l}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \varepsilon_{s,y}^1 \frac{\partial c^l}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \varepsilon_{s,z}^l \frac{\partial c^l}{\partial z} \right) = 0 \quad (Eq. 22)$$

Onde  $c^l$  é a concentração da fração de sedimento  $l$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $u$ ,  $v$  e  $w$  são as componentes do vetor velocidade ( $\text{m}/\text{s}$ );  $\varepsilon_{s,x}^1$ ,  $\varepsilon_{s,y}^1$  e  $\varepsilon_{s,z}^1$  são os coeficientes de difusão turbulenta da fração de sedimento  $l$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) e  $w_s^l$  é a velocidade de queda da fração de sedimento  $l$  em suspensão ( $\text{m}/\text{s}$ ).

A velocidade de queda do sedimento não coesivo (areia) é calculada de acordo com o método de RIJIN (1993), onde a formulação utilizada depende do diâmetro de sedimento em suspensão (Eq. 23, 24 e 25):

Para  $65 \mu\text{m} < d_s \leq 100 \mu\text{m}$ :

$$w_{s,0}^{(l)} = \frac{(s^{(l)}-1)gd_s^{(l)2}}{18\nu} \quad (Eq. 23)$$

Para  $100 \mu\text{m} < d_s \leq 1000 \mu\text{m}$ :

$$w_{s,0}^{(l)} = \frac{10\nu}{d_s} \left[ \left( 1 + \frac{0,01(s^{(l)}-1)gd_s^{(l)3}}{\nu^2} \right)^{0,5} - 1 \right] \quad (\text{Eq.24})$$

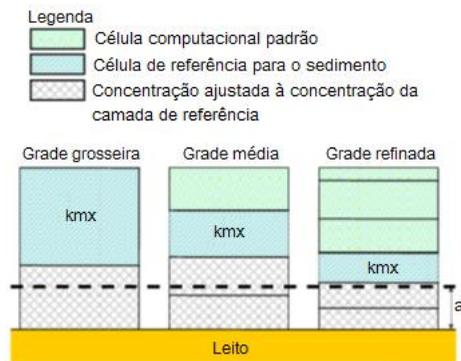
Para  $1000\mu\text{m} < d_s$ :

$$w_{s,0}^{(l)} = 1,1 \left[ (s^{(l)} - 1)gd_s^{(l)} \right]^{0,5} \quad (\text{Eq.25})$$

Onde  $s^{(l)}$  é a densidade do sedimento,  $d_s^{(l)}$  é o diâmetro representativo do sedimento e  $\nu$  é o coeficiente de viscosidade cinemática da água ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

A transferência de sedimentos entre o leito e o fluxo é modelada usando termos de sumidouro e fonte, que agem na camada próxima ao fundo, denominada altura de referência de Van Rijn. Esta camada é identificada como a camada de referência (camada kmx), onde “a” está a uma altura da referência de van Rijn, como mostra a Figura 8.

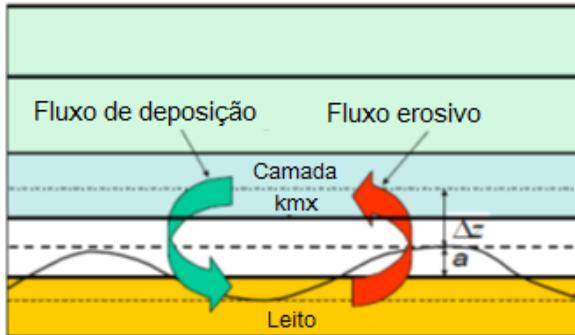
Assume-se que a concentração de sedimentos na camada (ou nas camadas) que está abaixo da camada kmx ajusta-se rapidamente à mesma concentração da camada de referência.



**Figura 8** - Seleção da camada kmx (adaptado de DEFLT3D-FLOW, 2007).

A cada meio intervalo de tempo os termos de fonte e sumidouro modelam a quantidade de sedimento que entra no fluxo através de uma difusão

ascendente para o nível de referência e a quantidade de sedimento que sai do fluxo devido à deposição. O termo de sumidouro é resolvido implicitamente na equação da advecção-difusão, já o termo de fonte é resolvido explicitamente. Os termos de fonte e sumidouro requeridos pela camada kmx são calculados como mostrado na Figura 9.



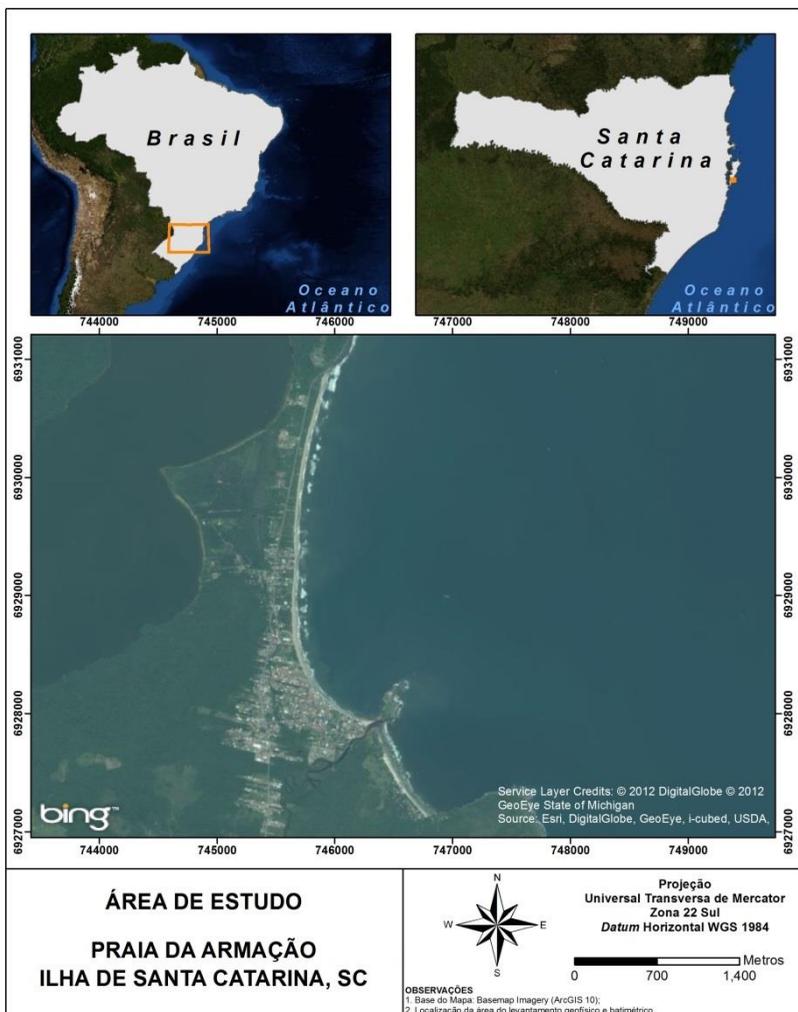
**Figura 9** - Esquema de condição de limite de fluxo de leito (adaptado de DEFLT3D-FLOW, 2007).

### 3. Área de Estudo

#### 3.1 Localização geográfica

A Ilha de Santa Catarina está localizada no Litoral Central do Estado de Santa Catarina, entre os paralelos de 27°22'45 "e 27°50'10" de latitude sul e os meridianos de 48°21'37 "e 48°34'49" de longitude oeste. Com uma área de 401 km², a Ilha apresenta na sua face oeste paisagens bem mais ligadas ao espaço urbano de Florianópolis. Na sua face leste, exposta ao mar aberto, às ondas oceânicas, aos ventos prevalentes e aos dominantes, as planícies são margeadas por praias extensas e cordões, ornadas com dunas vivas ou recobertas por vegetação (CRUZ, 1998). Apresenta uma forma alongada no sentido norte/sul com 54 km de extensão; e com largura máxima de 18 km no sentido leste (IPUF, 2008). A Ilha é totalmente banhada pelo Oceano Atlântico e individualizada do continente pelas baías Norte e Sul através de um estreito de aproximadamente 500 metros de largura.

Na porção sudeste da Ilha está inserida a área de estudo deste trabalho (Figura 10). A Praia da Armação é classificada por Abreu de Castilhos (1995) como sendo do tipo logarítmico-espiral, com orientação oblíqua em relação às ondulações dominantes de NE e S-SE e associada à presença em sua extremidade Sul da Ponta das Campanhas.



**Figura 10 - Localização da Área de Estudo.**

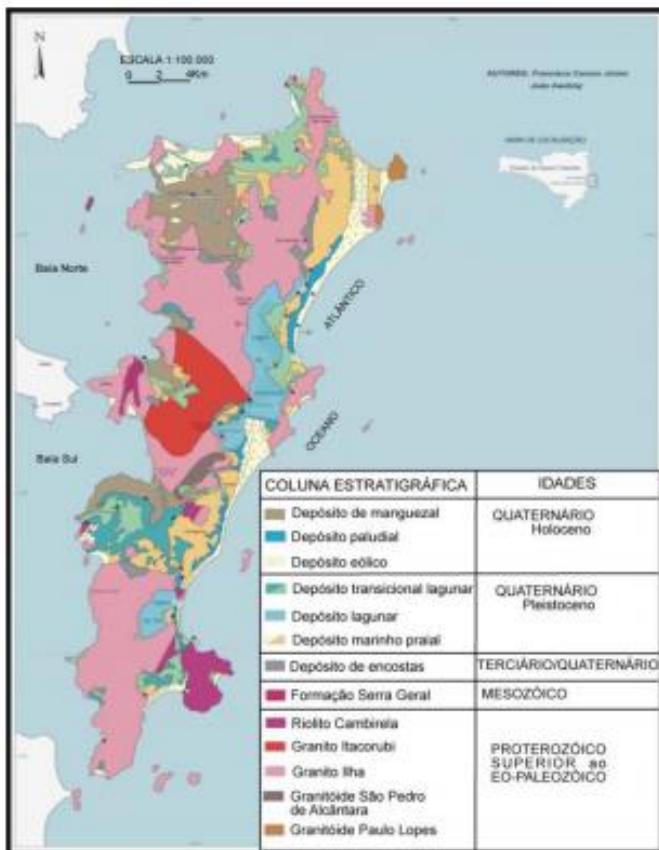
### 3.2 Arcabouço geológico

A plataforma continental adjacente à área de estudo está contida na Plataforma de Florianópolis, situada entre as bacias sedimentares de Santos (ao norte) e de Pelotas (ao sul). A plataforma de Florianópolis encontra-se entre as latitudes 27° S. (Porto Belo) e 28,5° S. (cabo de Santa Marta Grande) ajustando-se com o prolongamento de uma zona transversal de faturamento oceânico, palco de um intenso vulcanismo, durante os estágios iniciais de abertura do oceano Atlântico sul (CARUSO JR., 1993).

A evolução geológica estrutural do município de Florianópolis está relacionada ao rifteamento do supercontinente Gondwana, que ocasionou sua separação e formação do Oceano Atlântico durante o período Cretáceo (MPB, 2009). Ao longo do tempo geológico, a linha de costa da ilha de Santa Catarina foi modificando-se, principalmente conforme as flutuações do nível do mar (OLIVEIRA & HERRMANN, 2001). A atual configuração da Ilha resulta da interligação de um grande número de morros que correspondem aos topos de blocos mais elevados, separados do continente e entre si por fossas tectônicas hoje preenchidas, parcial ou totalmente, por sedimentação quaternária (MPB, 2009).

A Ilha de Santa Catarina tem sua geologia formada pelo embasamento cristalino e pelos Depósitos quaternários de planície costeira (CARUSO JR.; AWDZIEJ, 1993) (Figura 11). O embasamento é descrito por Scheibe & Teixeira (1970) como sendo constituído por rochas graníticas, riolitos eopaleozóicos e diques de diabásio da formação Serra Geral, datados do Mesozóico. Os maciços graníticos presentes na parte central Ilha de Santa Catarina propiciaram a formação de pequenas bacias hidrográficas, estando essas subdivididas em quatro vertentes distintas que correspondem aos setores leste, oeste, norte e sul.

Dentre os Depósitos da planície costeira destacam-se o Depósito de encostas do Terciário/Quaternário, os Depósitos marinho praiar, lagunar e transicional lagunar do Pleistoceno e os Depósitos eólico, paludial e de manguezal do Holoceno (CARUSO JR.; AWDZIEJ, 1993). Em meio à planície costeira, circundada pelo embasamento cristalino dos morros da Cachoeira Grande, do Saquinho e do Peri de Cima, destaca-se na paisagem a Lagoa do Peri, individualizada da praia da Armação pelo Depósito eólico pleistocênico e pelos depósitos paludial, eólico e marinho praiar holocênicos (SILVA; HORN FILHO, 2011).



**Figura 11** – Mapa geológico da Ilha de Santa Catarina (CARUSO JR.; AWDZIEJ, 1993).

O litoral oceânico da Ilha de Santa Catarina encontra-se deslocado para o leste, em relação ao alinhamento do litoral ao norte da Ilha, tendo como consequência uma plataforma continental interna muito estreita (CRUZ, 1998). Segundo Grê (1983), os sedimentos da plataforma continental sul brasileira são influenciados pelas flutuações do nível do mar, durante os episódios glácio-eustáticos ocorridos a partir do pleistoceno. Tendo constituição, as areias da plataforma interna, predominantemente quartzoza, apresentando, também, minerais pesados, micas, glauconita, feldspato e carapaças de organismos em quantidades inferiores a 10%.

### 3.3 Aspectos climáticos e meteorológicos

O clima da ilha de Santa Catarina apresenta características inerentes ao litoral sul brasileiro, com as estações mostrando, no decorrer do ano, características de clima subtropical. Sendo principalmente condicionado pelo domínio da Massa Tropical Atlântica (MTA) que é quente e úmida, e da Massa Polar Atlântica (MPA) que traz para a região ondas de frio (MONTEIRO; FURTADO, 1995). Destaca-se ainda a Frente Polar Atlântica, responsável pelo ritmo de chuvas da Ilha (em geral frontais, pré-frontais e pós-frontais), e que resulta do encontro das massas MPA, responsável pelos ventos Sul e Sudeste, e MTA, responsável pelos ventos Norte e Nordeste (FREYESLEBEN, 1979).

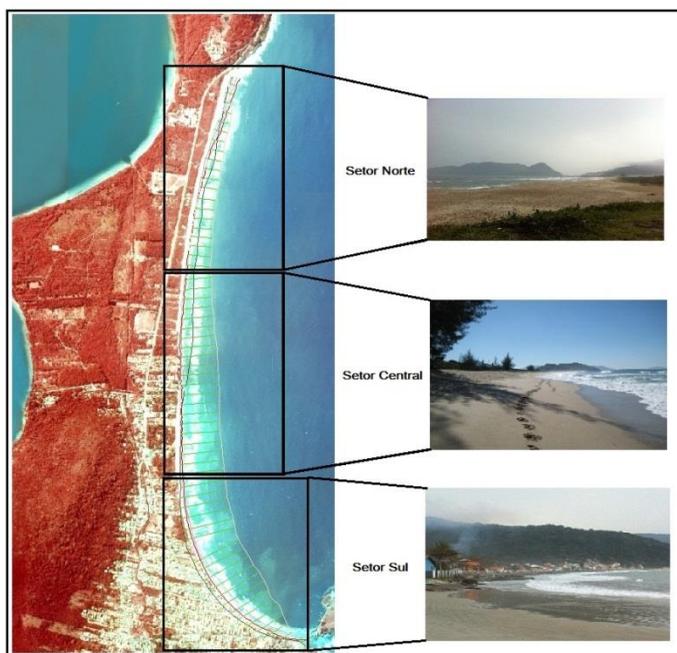
Em dados do Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina – CLIMERH, nos últimos 70 anos tem-se a predominância dos ventos Norte (36.92%); seguido pelos ventos de Sudeste (16,92%); Sul (15.77%); Nordeste (10.05%); Noroeste (2.85%) e Sudoeste (1.14%). Os ventos do quadrante norte estão associados ao Anticiclone Tropical Atlântico e apresentam velocidade média em torno de 3,5 m/s. Os ventos do quadrante sul são decorrentes do Anticiclone Polar e exibem velocidades médias mais acentuadas de 10 m/s, com rajadas que podem chegar aos 80 km/h (MONTEIRO, 1992).

Geralmente 3 a 4 frentes frias atingem Santa Catarina a cada mês no sentido sudoeste/nordeste, ocasionando bruscas mudanças de tempo atmosférico em qualquer estação. Além destes principais sistemas, há um fenômeno conhecido como “lestada” que atinge a região. De acordo com Monteiro & Furtado (1995), ele ocorre quando uma frente polar é bloqueada tornando-se semi-estacionária, o anticiclone Polar desloca-se para leste e o fluxo dos ventos toma a mesma direção. Estes ventos são acompanhados de alta umidade, nebulosidade baixa estratiforme e precipitação leve e contínua. Há de se destacar também a ocorrência de Ciclones Extratropicais e Anticiclones próximos a costa sul brasileira. Tais eventos, somados a outras variáveis ambientais, geram ondas de alta energia podendo resultar em processos erosivos no sistema praias.

Quanto a temperatura, a Ilha apresenta média anual de 20,4°C, com o mês mais quente em janeiro 24.5°C em média, e a média mensal mais baixa registrada no mês de julho em torno de 16,5°C (CARUSO, 1983; MONTEIRO, 1992; MENDONÇA, 2002). Com o auxílio do efeito local da brisa marinha, a umidade relativa do ar se mantém em 80% em média, (MONTEIRO; FURTADO, 1995)

### 3.4 Caracterização morfodinâmica e oceanográfica

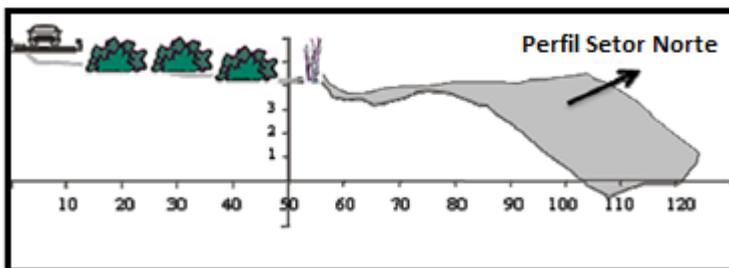
Em seus 3500 metros de extensão, a Praia da Armação apresenta características morfodinâmicas distintas ao longo dos setores divididos em Norte, Central e Sul (Figura 12).



**Figura 12** – Praia da Armação, dividida nos setores Sul, Central e Norte. Com fotografias representando cada setor.

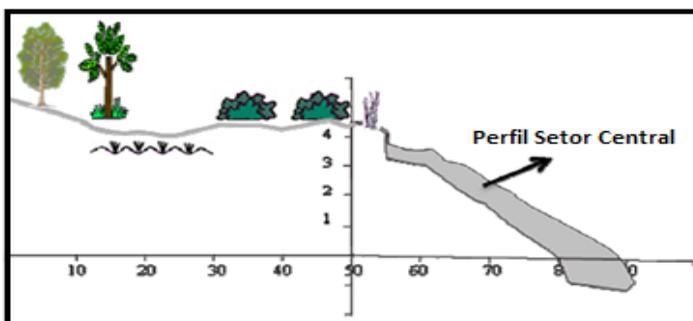
O setor norte caracteriza-se como exposto à ação da alta energia das ondas, visto que recebe ondas tanto de E-ENE quanto de S-ESSE. Na zona de surf pode haver entre uma e duas linhas de arrebentação de onda, que ocorrem de forma mergulhante e às vezes deslizante na quebra externa e ascendente junto à face da praia. Sua granulometria é classificada como areia grossa, o que gera uma elevada declividade de face praial. Devido ao elevado estoque sedimentar presente na porção aérea da praia, sua variação de volume subaéreo é duas vezes maior que o setor central e cinco vezes maior que o setor sul. Abreu de Castilhos (1995) classifica este trecho da praia como reflectiva.

O perfil praiial mostra uma praia com crista de berma bem pronunciada e alta declividade na face praiial (Figura 13). Nesse trecho de costa, a orla terrestre não possui dunas frontais, exibindo um terraço marinho (seguimento da praia). Na planície costeira há vegetação do tipo arbustiva, com uma orla natural com praia e restinga bem preservadas (OLIVEIRA, 2009)



**Figura 13** – Perfil esquemático da orla (em metros) no Setor Norte da Praia da Armação, cobrindo os máximos erosivo e acrescivo da praia (adaptado de OLIVEIRA, 2009).

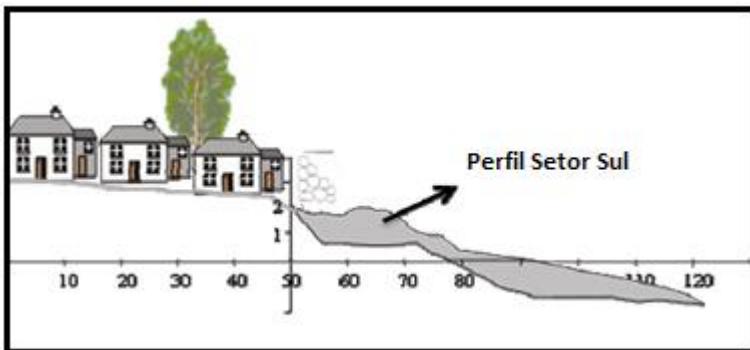
No setor central de forma geral a praia é de energia de onda média. A granulometria apresenta um valor intermediário entre o setor Norte e Sul, ainda sendo classificada como areia grossa. Apresenta cúspides, correntes de retorno e a maior declividade de face praiial da enseada. Sendo classificada também como reflectiva para Abreu de Castilhos (1995). A orla deste trecho tem algumas casas localizadas próximas aos limites do Parque Municipal da Lagoa do Peri. Pode ser considerada como uma ocupação recente, de tipo parcelamento simples e que vem se expandindo a partir do canto sul da Praia da Armação, onde há um núcleo pesqueiro tradicional (OLIVEIRA, 2009).



**Figura 14** - Perfil esquemático da orla (em metros) no Setor Central da Praia da Armação, cobrindo os máximos erosivo e acrecimento da praia (adaptado de OLIVEIRA, 2009).

No setor sul a praia é de baixa energia de onda, pois é protegida das ondulações de Sul pela Ilha das Campanhas. De granulometria fina, apresenta uma declividade da face praial moderada, o perfil praial mostra uma praia em rampa relativamente plana (Figura 15) Quanto a seu estágio morfodinâmico, é classificada como intermediária por Abreu de Castilhos (1995). Classificada por Simó e Horn Filho (2004) como de alto risco, é o setor mais ocupado, com casas, bares, muros e rampas construídas na praia.

Na zona de surf há geralmente uma linha de arrebenção de ondas, na maioria das vezes, mergulhante. Nesse trecho de costa, a orla terrestre não possui dunas frontais, expondo um terraço marinho praial holocênico. Na planície costeira a vegetação é praticamente inexistente, devido ao estágio de urbanização consolidado, inclusive com presença de estruturas de contenção à erosão costeira. O processo de urbanização ocorrido foi do tipo parcelamento simples, com ocupação anterior à legislação vigente. Apesar do Setor Sul ser protegido da ação direta dessas ondas, pode ser invadido pelas correntes longitudinais geradas no sentido geral Norte-Sul (OLIVEIRA, 2009).



**Figura 15** - Perfil esquemático da orla (em metros) no Setor Sul da Praia da Armação, cobrindo os máximos erosivo e acrecimento da praia (adaptado de OLIVEIRA, 2009).

Abreu de Castilhos (1995) definiu 3 principais comportamentos morfodinâmicos da Praia da Armação em relação a direção do ataque de ondas:

- *Lestadas na Ilha de Santa Catarina* – a praia é atingida perpendicularmente: Observa-se uma atuação mais intensa de processos

erosivos no setor mais exposto da praia, onde o recuo da linha de costa é maior. Com os processos de difração em torno do promontório gerando diferença na altura de onda ao longo da praia, origina-se um gradiente entre a área exposta e a zona de sombra, responsável pela formação de uma corrente longitudinal neste sentido. Essa corrente leva ao transporte de sedimentos em direção à área de sombra, podendo, como já foi assinalado, ultrapassar o promontório, provocando erosão e recuo da linha de costa também nesse setor.

- *Ondas oriundas de Nordeste* – ataque oblíquo em direção à zona de sombra: Provoca correntes de deriva com velocidade acentuada neste sentido, levando toda a praia a uma maior exposição aos processos erosivos, resultando, sobretudo, em recuo da linha de costa mais importante na área de sombra, comparativamente à situação A. Considerando que estas ondas de NE possuem uma intensidade pequena, as correntes de deriva para sul deslocam preferencialmente os sedimentos arenosos finos, que se concentram na área de sombra.

- *Ondulação de Sudeste* – ataque oblíquo no sentido inverso à situação anterior: observa-se um recuo mais acentuado e homogêneo na porção retilinizada da praia, mantendo-se a zona de sombra mais preservada. Nesse caso pode igualmente intervir a formação de uma corrente longitudinal em direção a essa área, a partir do já referido gradiente de altura de onda na arrebentação ao longo da praia.

A variação de maré na área de estudo está classificada em um regime de micro maré, com amplitude máxima em 1,2 metros, em condição de sizígia e regime semidiurno. As maiores variações do nível do mar na região ocorrem devido às marés meteorológicas. As positivas, isto é, geradoras de uma sobre-elevação do nível do mar, na costa sul do Brasil, são decorrentes da ação de eventos de alta energia de onda, associados a fortes ventos e ondulações provenientes de sul/sudeste (CRUZ, 1998). As marés meteorológicas negativas, geradoras de um abaixamento do nível do mar, por sua vez, podem ser associadas a ventos e vagas provenientes de leste-nordeste.

Através da análise dos dados de um ondógrafo, Araújo *et al.* (2003) caracterizaram cinco sistemas de ondas distintos na plataforma continental adjacente à Ilha de Santa Catarina (Tabela 03). São eles:

- 1) Ondulação de Sudeste: geradas nas altas latitudes do Oceano Atlântico Sul, possuem período de pico médio de 14,2 segundos e direção média de 146°;

- 2) Ondulação de Sul: geradas na costa do Rio Grande do Sul e Uruguai por ventos do quadrante sul que ocorrem após a passagem de frentes

frias pela região. Com período de pico médio de 11,4 segundos e direção de 162°;

3) Vagas de Leste: Com período de pico médio de 8,5 segundos e direção de 92°. Representam um sistema de ondas estável associado com ventos de nordeste do sistema de alta-pressão semipermanente do Atlântico Sul;

4) Vagas de Nordeste: relacionado com ventos do quadrante norte e nordeste de menor duração de tempo que ocorrem logo antes da chegada de uma frente fria. De curto período de pico médio de 4,7 segundos e direção de 27°;

5) Vagas de Sul: Com período de pico médio de 6,4 segundos associado a ventos de sul que sopram logo após a passagem dos sistemas frontais. Durante a primavera, este sistema mostra um padrão mais complexo, dividido-se em dois sistemas pela análise estatística, um com período de 8,5 segundos e outro curto com 5,1 segundos, ambos advindos de sul.

**Tabela 03** – Principais tipos de ondas ocorrentes em Santa Catarina. Dados de Direção em águas profundas ( $\Theta$ ); Período de Pico ( $T_p$ ); Altura significativa da onda ( $H_s$ ); e Frequência por intervalos de altura de onda e Frequência Total.

Sistema	$\Theta$ (°)	$T_p$ (s)	$H_s$ (m)	Freq. (%) por intervalo de altura de onda (m)				Frequência Total (%)
				0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	
<b>Ondulação de Sudeste</b>	146	14,2	1,50 a 2,0	19,4	40,5	24,6	9,9	16,0
<b>Ondulação de Sul</b>	162	11,4	1,25 a 2,0	13,8	38	27,8	12,7	11,0
<b>Vagas de Leste</b>	92	8,5	0,75 a 1,75	22,2	42	23	8,5	10,0
<b>Vagas de Nordeste</b>	27	4,7	> 0,75	23,9	43,2	21,8	7,5	20,5
<b>Vagas de Sul</b>	188	6,4	> 1,0	-	-	-	-	10,0

Fonte: ARAÚJO *et al.*, 2003, adaptado.

Segundo Franco e Melo Filho (2008), anualmente, mais de metade dos espectros amostrais (55%) apresentam altura significativa,  $H_{m0}$ , na faixa de [1.00 m-1.75 m], 7% mostram alturas menores de 1.00 m, e o significativo

restante (38%) indica: em 28% dos casos alturas na faixa [1.75m-2.50m], em 8% valores entre [2.50m-3.25m], e ainda um 2% acima de 3.25m. Valores extremos conseguem ainda alcançar os 5.0 m.

Quanto a sazonalidade, podem se identificar estados de agitação marítima mais energéticos no Inverno, uma pequena diminuição dos valores durante a Primavera, até o mínimo bem definido no Verão e uma leve recuperação dos valores no Outono.

Quanto às direções dos picos identificados em evolução sazonal, o outono mostra um domínio absoluto de ondas do setor Sul com quase 50% dos picos entre SSE (26%) e S (23%). Já a partir do Inverno o quadro começa a ficar mais complexo, entre SSE e S se encontram ainda 38% dos picos, mas crescem as ocorrências de SE e, duplicam as de ENE e E (FRANCO e MELO FILHO, 2008). Tais ondulações geralmente estão ligadas as passagens de frentes e frias e geram condições de alta energia de onda. Também há incidência de ondas de alta energia provenientes do quadrante E-ENE, durante as chamadas “lestadas”, quando as ondas podem ultrapassar os 5 metros de altura, geralmente com menor período de pico que as provenientes de S-SSE. (ARAÚJO *et al.*, 2003).

Na primavera a distribuição direcional se uniformiza, com 30% dos picos entre ENE - E, 28% em ESE - SE, e 29% em SSE - S, crescendo no geral as contribuições do setor Leste. Este movimento sazonal para Leste contínua no Verão (FRANCO e MELO FILHO, 2008). Nestas estações predominam condições de baixa energia.



## 4. Metodologia

### 4.1 Evolução da ocupação do solo

#### 4.1.1 Aquisição das imagens

As imagens dos anos 1938, 1977 e 1994 foram adquiridas junto ao Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF. Elas foram disponibilizadas em forma de mosaico, gerados a partir da digitalização e união de diversas aerofotos analógicas. Este processo foi realizado utilizando-se um scanner de mesa com resolução de 400 *dpi*. As imagens de 1957 foram cedidas pela Secretaria de Estado do Planejamento de Santa Catarina (SPG – SC). Já as imagens dos anos de 2002 e 2007, também cedidas pelo IPUF, tratavam-se fotografias aéreas digitais já ortorretificadas. As imagens de 2009 e 2011 foram extraídas do *software Google Earth* que disponibiliza imagens já tratadas do sensor orbital *Quickbird* (Tabela 4).

Para a utilização de ortofotografias ou imagens de satélite, sugere-se manter uma representação do *pixel*, definido como o menor ponto que forma uma imagem digital, de 1 metro aproximadamente, ou seja, cada *pixel* das fotografias e imagens representando 1 metro no terreno (ARAUJO *et al.*, 2009). Para obter o valor de Representatividade do pixel, multiplica-se a escala da imagem pelo valor, em metros, de uma polegada (0,0254), e divide-se o resultado pela resolução com que a imagem foi digitalizada, conforme a equação (Eq. 26) abaixo:

$$\text{Representatividade do } \textit{pixel} = \frac{\text{Escala} \times 0,0254 \text{ (m)}}{\text{Resolução (dpi)}} \quad (\text{Eq. 26})$$

Já a representatividade do pixel para as imagens adquiridas do *software Google Earth* foi calculada através da relação entre a resolução em que a imagem foi salva (1000 pixels) e a distância que esta imagem abrange (900 metros)

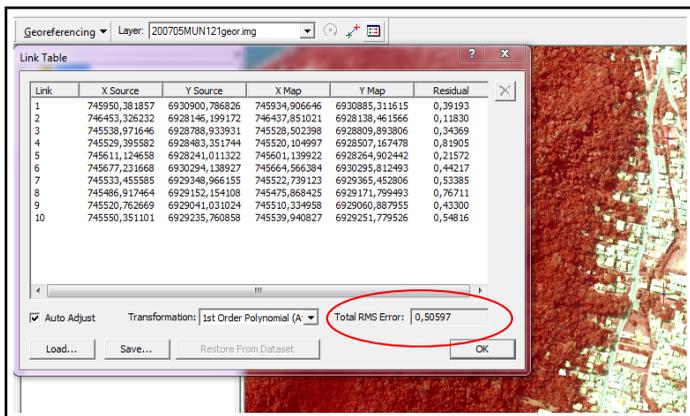
**Tabela 04** – Dados das imagens utilizadas

<b>Data</b>	<b>Tipo</b>	<b>Escala original</b>	<b>Fonte</b>	<b>Representatividade de do pixel</b>
1938	Aerofoto	1:20.000	IPUF	1,27
1957	Aerofoto	1:20.000	SPG - SC	1,27
1977	Aerofoto	1:25.000	IPUF	1,58
1994	Aerofoto	1:25.000	IPUF	1,58
2002	Ortofotos	1:2.000	IPUF	0,13
2007	Ortofotos	1:2.000	IPUF	0,13
2009	Imagens do satélite Quickbird	1:4.160	Google Earth	1,11
2011	Imagens do satélite Quickbird	1:4.160	Google Earth	1,11

#### 4.1.2 Georreferenciamento

As imagens foram georreferenciadas através *do software ArcGIS 9.3*. O processo foi realizado com a ferramenta *georreferencing*, onde são fixados Pontos de Controle (PC) na imagem, tendo como referência a Base Cartográfica 2007 do IPUF, com escala 1:2.000.

Após fixados os PC e encontrado o melhor ajuste à Base Cartográfica e o menor erro entre os pontos, a imagem era então retificada. O erro citado anteriormente refere-se ao valor do “Total RMS Error” destacado na Figura 16. Tal valor é utilizado mais a frente (Seção 2.2.2.3) para calcular a Incerteza da Extração das Linhas de Costa.



**Figura 16** – Imagem representativa do processo de georreferenciamento das imagens, onde podem ser observados os pontos de controle e o erro total gerado.

#### 4.1.3 Mapeamento e classificação

As áreas de estudo foram “mapeadas” por retângulos gerados em forma de *shape* através do *software ArcGIS 9.3*. A área a ser mapeada e posteriormente classificada foi definida como aquela interferente nos processos praias, e com visível transformação urbana.

As áreas delimitadas foram classificadas em 3 níveis de acordo com seu grau de ocupação:

- Baixa Densidade: menor que 30%;
- Média Densidade: entre 30 e 70%;
- Alta Densidade: maior que 70%

Sendo que foi considerada como ocupação urbana, somente áreas construídas. Áreas que tiveram sua vegetação primária descaracterizada, porém ainda se encontram com sua zona de drenagem totalmente livre, foram classificadas como zonas sem ocupação.

As zonas classificadas como de Baixa Densidade tiveram seu retângulo colorido com a cor verde, as de Média Densidade com a cor azul e as áreas caracterizadas como de Alta Densidade com a cor vermelha. A classificação pode ser observado na Figura 17 a seguir, que mostra a área central da Praia da Armação no ano de 2007.

Para esta análise foram consideradas como área de interesse uma faixa distante da linha de costa entre 400 e 500 metros, sendo que no Sul da Praia

esta faixa se amplia devido a importância de compreender a área adjacente ao rio Quincas D'água.



**Figura 17** – Classificação de ocupação do solo na área central da Praia da Armação no ano de 2007. As zonas verdes representam baixa densidade, as zonas azuis média densidade e a zona vermelha alta densidade.

Terminadas as classificações, calculou-se as porcentagens que cada nível de classificação representava para cada período. Tal processo foi realizado para as duas praias, sendo que para a Praia da Armação as análises foram segmentadas nas regiões Norte, Centro e Sul. Visto que tais regiões apresentam diferentes processos evolutivos de ocupação e de Variação de Linha de Costa.

## **4.2 Variação da linha de costa**

Os processos de Aquisição de Imagens e Georreferenciamento foram os mesmos já citados na etapa anterior, explicados nos itens 2.2.1.1 e 2.2.1.2.

### **4.2.1 Definição do estimador**

A definição da Linha de Costa adotou o critério de linha de preamar média (LPM), a qual é determinada pela linha de saturação hídrica nos

sedimentos. Contudo, a Linha de Preamar Média é uma feição que sofre modificação com as oscilações da maré. Portanto, o erro associado a essa oscilação também tem de ser contabilizado no cálculo da Incerteza da Extração das Linhas de Costa.

#### 4.2.2 Digitalização da linha de costa

Definido então a LPM como estimador, as Linhas de Costa foram extraídas sendo digitalizadas também pelo *software ArcGis 9.3* (Figura 18). Para cada imagem (ano) foi gerado um shapefile de Linha de Costa para a data correspondente (Ex: shoreline1938.shp).



**Figura 18** – Imagem representativa do processo de digitalização da Linha de Costa através da identificação da Linha de Preamar Média.

#### 4.2.3 Cálculo da incerteza do processo de extração das linhas de costa

Para calcular a Incerteza gerada no processo de Extração das Linhas de Costa foram utilizadas as fórmulas propostas por Hapke *et al.* (2006). Segundo os autores, a confiabilidade dos resultados obtidos de um estudo de VLC, através da análise de imagens, está diretamente ligada aos processos de georreferenciamento e digitalização e a variação de maré local.

As equações definidas pelos autores são mostradas a seguir:

$$E1 = \sqrt{eg^2 + ed^2 + em^2} \tag{Eq.27}$$

$$Ea = \frac{\sqrt{E1^2 + E2^2}}{n} \tag{Eq.28}$$

A Eq. 27 define que a Incerteza gerada no processo de Extração de cada Linha de Costa é dada pela raiz da soma dos quadrados das fontes dos erros individuais. Tais erros individuais são: eg = erro de georreferenciamento; ed = erro de digitalização da linha de costa; em = erro devido à variação da maré.

A Eq. 28 define a Incerteza entre duas ou mais Linhas de Costa por ano. Onde E1 é a Incerteza da Linha de Costa no tempo “1”, E2 é a Incerteza da Linha de Costa no tempo “2” e n é o tempo transcorrido entre as linhas de costa “1” e “2”.

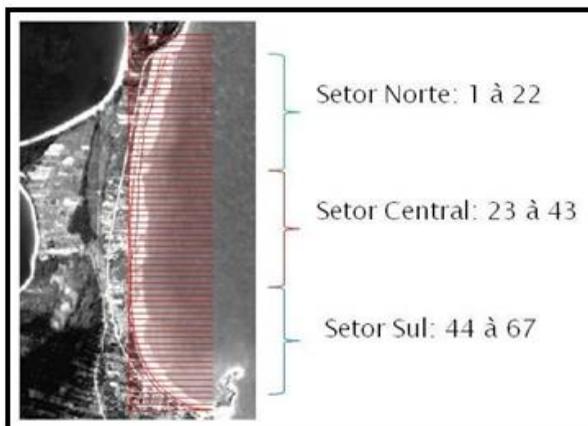
O erro associado ao processo de georreferenciamento (eg) foi obtido através do valor do “*Total RMS error*” gerado a partir da fixação dos Pontos de Controle definitivos. O erro gerado na digitalização (ed) ocorre no processo em que a Linha de Costa observada na imagem é digitalizada. Logo, este erro é fortemente associado a qualidade da imagem. Nas imagens onde a Linha de Costa estava bem definida, foi atribuído 1 metro de erro. Nas imagens com qualidade mais inferior, foi atribuído 2 metros de erro.

Para definir o erro proveniente da variação da maré (em) na área de estudo, foram analisados os dados obtidos por campanha realizada pelo Laboratório de Hidráulica Marítima (Lahimar) da UFSC (FRANCO, 2009).

#### 4.2.4 Cálculo das taxas de variação da linha de costa

As taxas de variação da Linha de Costa foram calculadas utilizando a ferramenta computacional *DSAS 3.2 (Digital Shoreline Analysis System)* (THIELER *et al.*, 2005). O *DSAS* é uma extensão desenvolvida para ser utilizada no *software ArcGIS*. A ferramenta gera transectos ortogonais às linhas de costa, com espaçamentos pré-definidos pelo usuário, e então calcula as taxas de variação, que são então reportadas em uma tabela de atributos. Para este estudo, os transectos foram gerados com um espaçamento definido em 50 metros. Gerando 67 transectos para a Praia da Armação.

As análises dos resultados para Praia da Armação foram realizadas para praia como um todo, e para praia setORIZADA em Norte, Centro e Sul (Figura 19). Tal divisão foi feita pela praia apresentar características morfodinâmicas e processos de acresção e regressão da Linha de Costa bem distintos em cada trecho.



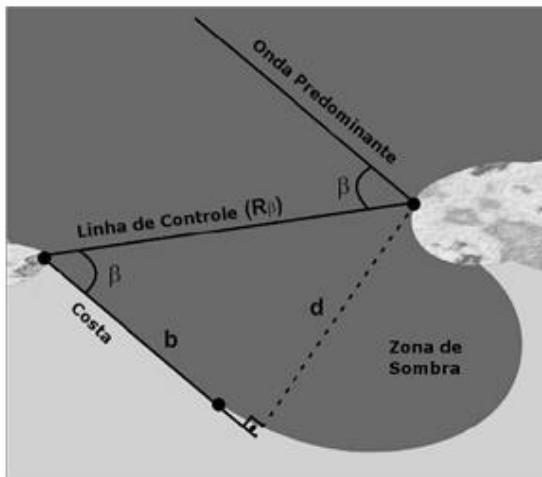
**Figura 19** – Divisão dos transectos para Praia da Armação em Setor Norte, Central e Sul.

Essa ferramenta disponibiliza diversos métodos de cálculo, dos quais dois foram utilizadas neste trabalho: o NSM (*Net Shoreline Movement*) que dá a distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente, e o EPR (*End Point Rate*) que calcula a taxa de variação linear (distância dividida pelo tempo) entre duas ou mais linhas de costa. Um maior detalhamento da ferramenta e dos métodos utilizados pode ser encontrado em Thieler *et al.* (2005).

### 4.3 Perfil de equilíbrio em planta

Para definir o perfil de equilíbrio em planta foi utilizado o *software* MEPBay (PELZ, *et al.*, 2010). Esta ferramenta computacional se baseia no modelo parabólico de Hsu e Evans (1989) e auxilia na análise do equilíbrio em planta de praias de enseada utilizando imagens e/ou mapas da área a ser estudada

O modelo parabólico é normalmente utilizado nos dias atuais e foi desenvolvido através de uma série de experimentos em modelo reduzido. Se baseia em relações entre características geométricas da praia e o ângulo de incidência das ondas predominantes sobre esta mesma praia. Para a aplicação do modelo extrai-se por meio de imagens aéreas verticais ou mapas os seguintes parâmetros (Figura 20)



**Figura 20** – Definição dos pontos de controle (Klein *et al*, 2003)

$R\beta$ : Linha de controle: linha que une o ponto de controle localizado no promontório rochoso aonde se inicia o processo de difração de ondas, até a extremidade final da praia.

Linha de crista de ondas predominantes (obliquidade das ondas): A obliquidade das ondas predominantes na praia de enseada em questão é obtida a partir de fotografias aéreas ou mapas que estão sendo utilizados, e corresponde a uma linha paralela à porção mais retilínea da praia.

$\beta$  (Beta): Ângulo formado entre as linhas de crista de onda predominantes e a linha de controle  $R\beta$ .

Os dados para o cálculo do modelo, como a localização do promontório, a localização do final da praia, e a direção predominante das ondas, são inseridos no sistema pelo usuário. Com estes dados, o algoritmo calcula então a linha teórica da costa e a desenha na tela.

No desenvolvimento do modelo, a aplicação de ajustes de curvas a dados extraídos de modelos reduzidos e da análise de praias naturais consideradas em equilíbrio estático resultou a equação (Eq. 29):

$$R_n / R_\beta = C_0 + C_1 * \beta / \theta_n + C_2 * (\beta / \theta_n)^2 \quad (Eq.29)$$

$\theta$  (Teta): Ângulo formado entre a linha de crista de onda e os demais comprimentos  $R_n$ .

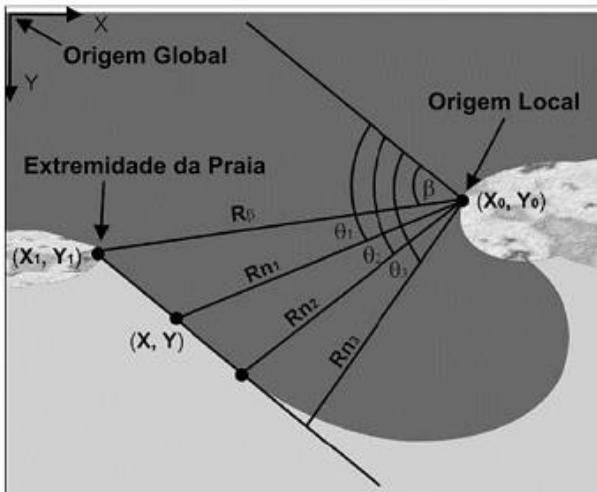
$R_n$ : Comprimentos obtidos a partir da linha de ondas predominantes ligados a outros pontos ao longo da periferia da praia (Figura 21).

Coefficientes  $C_0$ ,  $C_1$  e  $C_2$ , são dados em função do ângulo beta em questão conforme as equações (Eq. 30, 31 e 32), a maioria das praias de enseada apresentam valores de beta em torno de 20 a 80 graus. Tem sido verificado que a curva desta equação prediz a forma de toda a periferia das praias de enseada extremamente bem.

$$C_0 = 0,0707 - 0,0047 \beta + 0,000349 \beta^2 - 0,00000875 \beta^3 + 0,00000004765 \beta^4 \quad (Eq.30)$$

$$C_1 = 0,9536 - 0,0078 \beta + 0,00004879 \beta^2 - 0,0000182 \beta^3 + 0,0000001281 \beta^4 \quad (Eq.31)$$

$$C_2 = 0,0214 - 0,0078 \beta + 0,0003004 \beta^2 - 0,00001183 \beta^3 + 0,00000009343 \beta^4 \quad (Eq.32)$$



**Figura 21** – Aplicação do modelo Parabólico (Klein *et al*, 2003)

Algumas outras variáveis associadas com enseadas naturais, como o tipo de praia (morfodinâmica) e período e altura da onda não são incluídas por serem consideradas insignificantes no resultado final (KLEIN *et al*. 2003, HSU e EVANS, 1989).

#### 4.4 Análise Granulométrica

Para a caracterização granulométrica da Praia da Armação foram coletadas amostras ao longo da praia em maio de 2012. Os pontos de coleta de

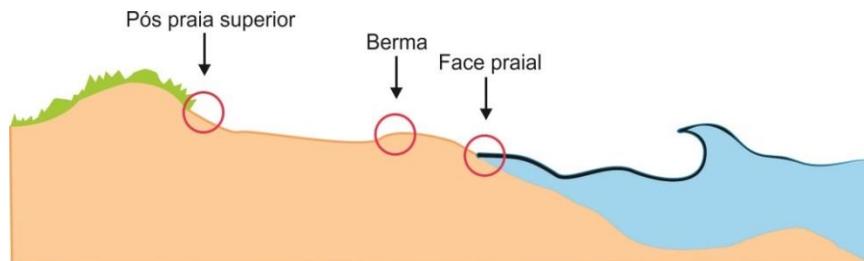
sedimentos foram definidos como subconjunto dos pontos do levantamento dos perfis subaéreos, resultando em 5 pontos ao longo da praia (Figura 22).



**Figura 22** – Pontos de Levantamento Topográfico (pontos vermelhos) e de coleta de sedimentos (pontos verdes).

Devido à elevada dinâmica do ambiente praiar, foram coletadas amostras superficiais de sedimentos em três diferentes setores de cada perfil (Figura 23): pós-praia superior (PPS), berma e face praiar, totalizando 15 amostras. Estas foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e levadas ao laboratório de sedimentologia da empresa CB&I Engenharia e Meio Ambiente, onde foram analisadas.

Inicialmente as amostras foram lavadas repetidas vezes a fim de remover os sais solúveis. Posteriormente, foram acondicionadas a 110°C em estufa para a secagem. As amostras coletadas em campo geralmente possuem mais material que o necessário para realizar os ensaios, por isso, neste momento é realizado o procedimento de quartearamento, um método mecânico para retirada de uma alíquota menor da amostra (40g).



**Figura 23** – Indicação das zonas de coletas de sedimentos.

Após isto foi realizado o peneiramento mecânico da alíquota da amostra de sedimento, utilizando-se um jogo de peneiras segundo a escala de tamanho de grão de Wentworth (1922), adaptada à escala phi por Krumbein (1934). Os grãos foram despejados no conjunto de peneiras ordenadas nos respectivos intervalos (Tabela 05), que foi agitado mecanicamente durante 15 minutos. Foi retirado o material de cada peneira com auxílio de pincéis, e o sedimento de cada peneira foi pesado para depois somar o total, obtendo-se a distribuição granulométrica.

**Tabela 05** – Escala granulométrica (WENTWORTH, 1922 e KRUMBEIN, 1934)

Wentworth, 1922 (mm)	Krumbein, 1934 (phi)	Classificação granulométrica
16; 11,31; 8; 5,65 e 4	-4; -3,5; -3; -2,5 e -2	Seixo
2,82 e 2	-1,5 e -1	Grânulo
1 e 1,41	-0,5 e 0	Areia muito grossa
0,70 e 0,50	0,5 e 1,0	Areia grossa
0,35 e 0,25	1,5 e 2,0	Areia média
0,17 e 0,12	2,5 e 3,0	Areia fina
0,08 e 0,06	3,5 e 4,0	Areia muito fina

0,03; 0,01; 0,0078 e 0,0039	5; 6; 7 e 8	Silte
0,002; 0,001; 0,0005 e 0,0002	9; 10; 11 e 12	Argila

Com os dados obtidos das análises granulométricas foram determinados os parâmetros estatísticos formulados por Folk & Ward (1957): diâmetro médio do grão (Mz), mediana, grau de seleção (Dp) (FOLK, 1968), assimetria (Ski) e curtose (Kg) (Tabela 06).

**Tabela 06** – Nomenclatura adotada para as diversas classes de sedimentos conforme a seleção, assimetria e curtose.

Grau de Seleção (Dp)		Assimetria (Ski)		Curtose (kg)	
$\sigma < 0,35$	Muito bem selecionado (MBS)	-1,00 a -0,30	Muito negativa	< 0,67	Muito platicúrtica
$0,35 < \sigma < 0,50$	Bem selecionado (BS)	-0,30 a -0,10	Negativa	0,67 a 0,90	Platicúrtica
$0,50 < \sigma < 1,00$	Moderadamente selecionado (MS)	-0,10 a 0,10	Aproximadamente simétrica	0,90 a 1,11	Mesocúrtica
$1,00 < \sigma < 2,00$	Pobremente selecionado (PS)	0,10 a 0,30	Positiva	1,11 a 1,50	Leptocúrtica
$2,00 < \sigma < 4,00$	Muito pobremente selecionado (MPS)	0,30 a 1,00	Muito positiva	1,50 a 3,00	Muito leptocúrtica
$\sigma > 4,00$	Extremamente mal selecionado (EMS)	--	--	> 3,00	Extremamente leptocúrtica

A média aritmética indica o diâmetro médio do grão (Mz). Segundo Folk & Ward (1957), a média aritmética dos percentis 16 ( 1/3 mais grosseiro), 50 ( 1/3 central) e 84 ( 1/3 mais fino) é a medida de tendência central mais importante, pois é determinada pela fonte do sedimento, pelo agente transportador e pelo ambiente deposicional, identificando distintas classes granulométricas. O cálculo da média aritmética é feito segundo a fórmula (Eq. 33):

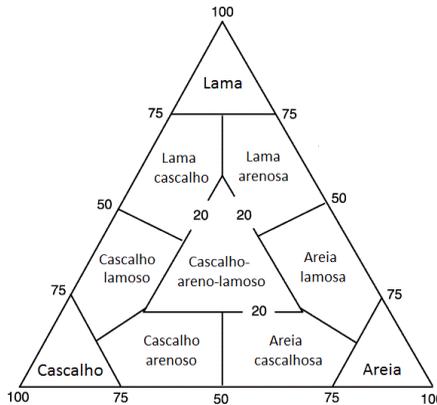
$$Mz = \frac{\emptyset_{16} + \emptyset_{50} + \emptyset_{84}}{3} \quad (Eq. 33)$$

O grau de selecionamento, ou desvio padrão, é a variação central do tamanho dos grãos a partir da média aritmética. Mede o grau de dispersão das partículas em torno da tendência central da amostra. Serve para determinar o grau de dispersão das classes granulométricas em relação à média, ou seja, o selecionamento das amostras. Folk & Ward (1957) determinaram o desvio

padrão gráfico incluso, que se aproxima do desvio padrão matematicamente calculado, pela seguinte fórmula (Eq. 34):

$$\sigma = \frac{(\emptyset84-\emptyset16)+(\emptyset95-\emptyset5)}{3} \quad (Eq. 34)$$

A classificação preliminar dos sedimentos praias, com base na frequência e no tamanho da partícula foi realizada através do Diagrama Triangular de Classificação dos Sedimentos Clásticos de Shepard (1954) onde os vértices de um triângulo representam as frequências relativas de máximo teor das frações lama, areia e cascalho sendo as variações dessas classes sedimentológicas representadas por mais 7 sub-classes (Figura 24).



**Figura 24** – Diagrama Triangular de Classificação dos Sedimentos Clásticos de Shepard (1954)

#### 4.5 Perfil praias emerso

A fim de conhecer melhor a morfologia da praia da Armação e fornecer dados mais precisos ao modelo numérico, foram realizados 10 perfis topográficos (Figura 23), transversais a praia, em dois períodos distintos: Campo I - Fevereiro de 2012 e Campo II - Maio de 2013. Nas mesmas campanhas também foram coletados dados de Linha de Costa e forma e altimetria da obra de enrocamento.

*Campo I – Fevereiro de 2012*

Este campo foi realizado em parceria com o Laboratório de Hidrologia – CTC/UFSC, que gentilmente cedeu equipamento e técnico habilitado para manuseio deste.

Para o levantamento dos perfis foi utilizado um DGPS da marca Trimble, modelo 5700 (Base L1/L2) e R3 (Rover L1). As Bases do equipamento foram instaladas, e mantidas estáticas por 6 horas, em um local plano e aberto (Figura 25) para que se realizasse a triangulação com satélites, definindo desta maneira as coordenadas exatas de localização do equipamento.



**Figura 25** – Instalação da Base L1 do DGPS na Praia da Armação.

Após instalação da Base, foram extraídos os perfis subaéreos. Estes foram adquiridos com espaçamento médio de 300 metros, totalizando 10 perfis ao longo da praia. Para esta coleta o R3 foi programado para extrair valores de “z” (elevação do terreno), a uma velocidade de 1 ponto/dado por segundo.

No mesmo campo, realizou-se a extração da Linha de Costa através de caminhada lenta com R3 (Rover L1) pela Linha de Preamar Média (Figura 19) de toda a praia.

Todos os dados obtidos foram processados no software Trimble Business Center, e exportados em formato *shp* e *dbf*, para futuro tratamento nos programas *ArcGIS*, *Excel* e *Matlab*.

#### *Campo II – Maio de 2013*

Este campo foi realizado em parceria com o Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) – CFH/UFSC, que gentilmente cedeu equipamento e técnicos habilitados para manuseio deste.

Para o levantamento dos perfis foi utilizado um sistema composto por três equipamentos, todos da marca Trimble: Receptor GNSS RTK R6, Coletor

de dados TSC3 e Rádio base UHF TDL 450. A base do equipamento foi instalada no marco do LOC (Laboratório de Oceanografia Costeira – USFC), materializado na Ilha das Campanhas (Figura 26). A monografia deste marco pode ser encontrada no Anexo A.



**Figura 26** – Base instalada no marco do LOC na Ilha das Campanhas (à esquerda) e levantamento do perfil 3 (à direita)

Para a extração dos perfis foram utilizadas as coordenadas geográficas dos pontos iniciais do Campo I (Tabela 07). O método utilizado para o levantamento foi o de topo contínuo, com distância fixa de 0,5 metros.

**Tabela 07** – Coordenadas Geográficas (no Datum WGS84) do ponto inicial de todos os perfis do Campo I, replicados no Campo II.

Perfil	Coordenadas Geográficas – Ponto Inicial	
	Latitude	Longitude
1	-27,7242260	-48,5055910
2	-27,7269410	-48,5063170
3	-27,7296760	-48,5070760
4	-27,7323390	-48,5075130
5	-27,7351260	-48,5076910
6	-27,7384820	-48,5078610
7	-27,7411890	-48,5077260
8	-27,7439480	-48,5074190
9	-27,7465780	-48,5066370
10	-27,7504250	-48,5016460

Neste campo também foi extraída a localização, forma e altimetria da obra de enrocamento na porção sul da praia. Os dados foram extraídos na base

e topo da estrutura (Figura 27), também seguindo a metodologia de topo contínuo, com distância fixa de 0,5 metros.



**Figura 27** – Levantamento da forma e altimetria da obra de enrocamento

Ambos os levantamentos (Campo I e II) foram amarrados ao marco do LOC, que está referenciado a altitude geométrica (referidas ao elipsóide). Para conversão em altitude ortométrica (referência ao nível médio do mar – IBGE) foi utilizado o programa MAPGEO 2010 – Modelo de Ondulação Geoidal, fornecido pelo IBGE. Tal modelo implica em uma incerteza de  $\pm 0,32$  m.

Para converter a altitude elipsoidal ( $h$ ), obtida através do equipamento, em altitude ortométrica ( $H$ ), utiliza-se a equação (Eq. 35):

$$H = h - N \tag{Eq.35}$$

Onde  $N$  é a altura geoidal fornecida pelo programa, dentro da convenção que considera o geóide acima do elipsóide se a altura geoidal tiver valor positivo e abaixo em caso contrário.

Ao inserir no programa a coordenada de um ponto na porção central da praia, ele nos forneceu o valor de ondulação geoidal ( $N$ ) de 00,82 m (Figura 28). Logo, para chegarmos a nossa altitude ortométrica ( $H$ ), subtraímos 0,82 m da altura geométrica/elipsoidal ( $h$ ).



**Figura 28** – Ondulação geoidal da área de estudo indicada pelo programa MAPGEO2010.

#### **4.6 Análise Estatística do Clima de Ondas**

Para o conhecimento do clima de ondas da região, foram utilizados dados de onda extraídos do modelo numérico global “WAVEWATCH III”, (WW3) na versão 3.14. O WW3 trata-se de um modelo que calcula a geração e propagação de ondas através da resolução da equação linear de balanço do espectro de energia. O WW3 determina a evolução do espectro direcional do campo de ondas que mostra como a energia presente na superfície do mar se distribui em termos de frequência (período) e direção. Uma descrição detalhada do modelo, incluindo suas equações e o método numérico utilizado, pode ser encontrada em Tolman (2009).

As informações de entrada do modelo WW3 foram a batimetria do GEBCO\_08 (*General Bathymetric Chart of the Oceans*) e o campo de ventos a 10 metros de altitude do CSFR, referentes ao período de 1980 à 2009. O WW3 global tem resolução de grade de 1° x 1° de longitude por latitude. Para este trabalho foram extraídos os valores do ponto 32 com coordenadas: 27 S e 47,5 W.

Os dados de ondas foram cedidos por Fabiane Brito, doutoranda do Laboratório de Hidráulica Marítima, que gentilmente os disponibilizou para utilização neste trabalho. O intervalo temporal dos dados é de 6 horas e os campos de saída do WW3 são paramétricos. As informações utilizadas foram:

*Altura significativa de ondas (Hs):* que é dada pela equação abaixo:

$$H_s = 4\sqrt{\int S(f)df} \quad (Eq. 36)$$

Onde  $S(f)$  é a frequência espectral da onda. Comumente é adotada como a média de 1/3 das maiores elevações de onda de uma série temporal, medidas, por exemplo, por uma boia.

*Período de Pico (Tp):* Corresponde a frequência com a maior densidade de energia presente em um espectro de frequência uni-modal;

*Direção de Pico (Dp):* Direção associada à frequência de pico.

Todos os parâmetros foram analisados estatisticamente nos *softwares* *Statistic 6.0* e *MatLab 9.0*.

## 4.7. Modelagem numérica

A modelagem aqui apresentada simulou dois cenários:

- Cenário A – praia da Armação em situação atual
- Cenário B – praia da Armação em situação hipotética sem molhe

O “Cenário A” trata-se de uma situação real e atual da praia da Armação e tem como objetivo o conhecimento dos padrões de correntes e transporte sedimentar referentes aos principais sistemas de ondas atuantes na região;

Já o “Cenário B” trata-se de uma situação hipotética que objetivou investigar a real interferência do molhe na hidrodinâmica e no transporte de sedimentos da praia da Armação. Para isso foi excluído o molhe e gerada uma batimetria fictícia entre a praia da Armação e Matadeiro. Neste cenário foi simulado apenas a conexão livre entre a praia do Matadeiro e Armação, sem influência do rio Quincas D’água.

### 4.7.1 Pré-processamento

Para a implementação dos modelos numéricos de onda e hidrodinâmico, alguns procedimentos de pré-processamento são fundamentais. Os principais estão a presentados a seguir, sendo que a geração da grade numérica sob um domínio determinado e a interpolação dos dados batimétricos são pontos de grande importância e determinantes na qualidade dos resultados.

#### *Grade numérica*

O modelo utilizado para as simulações conta com 3 grades numéricas distintas: grade local, intermediária e regional (Figura 29). Sendo a grade local aninhada à grade intermediária, e esta aninhada à grade regional. Todas as grades foram geradas e editadas em coordenadas cartesianas, no módulo de construção e edição de grades do modelo Delft3D (DELFT3D-RGFGRID, 2007).

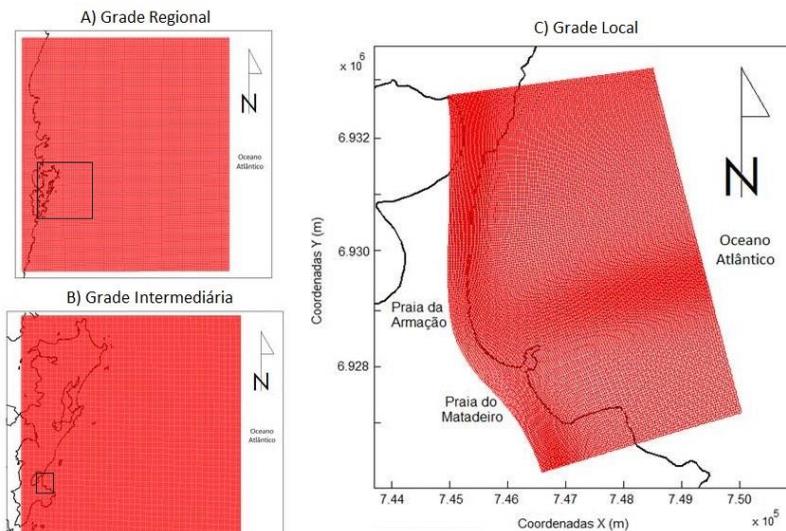
A *grade regional* abrange uma área de 48777 km<sup>2</sup>, com limites territorial ao norte com o município de Itajaí e ao sul Imbituba. Quanto ao limite oceânico, a grade dista 190 km do continente. É retangular com resolução regular de 1000 metros. Esta grade tem como função propagar os dados de ondas de águas profundas para águas mais rasas

A *grade intermediária* compreende toda a Ilha de Santa Catarina, é retangular com resolução regular de 200 metros, portanto comunica-se com a grade regional em uma razão de 1:5 elementos. Esta grade tem a função de receber os dados gerados pela grade regional, processá-los, e fornecê-los como condição de contorno para a grade local.

A *grade local* compreende as praias da Armação e Matadeiro, com extensão máxima de 5,1 km na borda oeste. Possui resolução máxima de 17 metros na região sul da Armação e mínima de 31 metros na região oceânica da praia do Matadeiro, portanto comunica-se com a grade intermediária em uma razão média de 1:8 elementos.

O formato curvilíneo da grade justifica-se pela comunicação dos cálculos de fluxo hidrodinâmico na região costeira. As linhas de grades paralelas a costa devem acompanhar a orientação desta em função da comunicação vetorial das componentes de transporte entre os elementos de grade.

De forma a se evitar a geração e propagação de ruídos numéricos, grades curvilineares devem cumprir certos requisitos de suas propriedades. Aquelas mais influentes são: ortogonalidade e suavidade. O manual do usuário (DELFT3D-RGFGRID, 2007) sugere os valores máximos destes parâmetros a serem apresentados pela grade numérica de forma a evitar os ruídos numéricos na grade. As grades numéricas utilizadas neste trabalho apresentam valores de ortogonalidade e suavidade dentro dos valores recomendados. Sendo estes inferiores a 0,04 para ortogonalidade, e inferiores a 1,4 para suavidade.



**Figura 29** – Grades numéricas utilizadas A) Grade regional, B) Grade intermediária e C) Grade local.

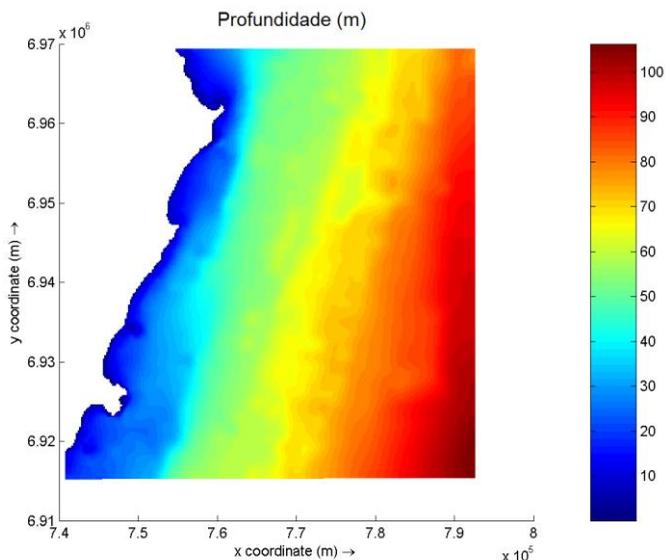
### *Batimetria*

O segundo passo no processo de configuração do modelo numérico é a projeção da batimetria na grade numérica. A profundidade em cada ponto de grade é utilizada na resolução das equações, e interfere em processos como velocidade de corrente, refração, difração e quebra de onda, entre outros. No caso do modelo utilizado neste trabalho, as diferentes escalas dos domínios solicitam base de dados batimétricos distintas, com resoluções diferenciadas. Foram utilizadas 2 bases de dados, sendo estas:

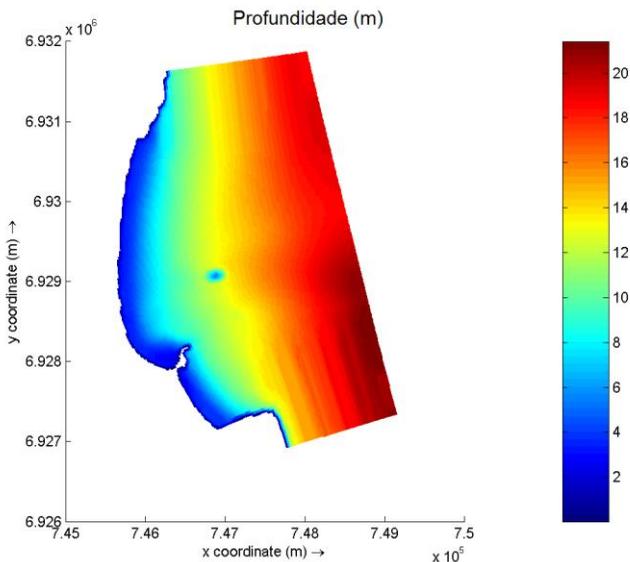
- *Cartas Náuticas* – Fornecidas pelo Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha Brasileira constam com dados batimétricos em resoluções proporcionais a extensão de seu domínio. Para o trabalho foi utilizada um compilação de todas as cartas náuticas do litoral catarinense (SILVA, 2008).
- *Medições Batimétricas* na porção sul da Praia da Armação – os dados foram levantados em 2009 pelo Departamento de Edificações e Obras Hidráulicas de Santa Catarina (DEOH).

Todos os levantamentos utilizados foram transferidos para sistema de coordenadas UTM, zona 22 sul, *datum World Geodetic System 1984 (WGS84)*,

em metros. Os mesmos foram inseridos no módulo de edição de batimetrias do software Delft3D (Delft3D-Quickin). Este possibilita a edição dos pontos a serem interpolados, criação de barreiras de interpolação, e outras ferramentas. A interpolação na grade numérica é linear através de triangulação (DELFT3D-QUICKIN, 2007).



**Figura 30** – Batimetria interpolada na grade intermediária



**Figura 31** – Batimetria interpolada na grade local

#### 4.7.2 Configuração do modelo de ondas

Para a modelagem de ondas foi utilizado a série temporal de 30 anos de dados de ondas extraídos do modelo numérico global WW3 (ver ítem 2.2.6). O modelo de propagação de ondas (SWAN) foi utilizado neste trabalho em dois momentos distintos. No primeiro momento, para processar 30 anos de dados de ondas de águas profundas para águas rasas através do método do hipercubo. E no segundo momento, rodando em paralelo com o modelo hidrodinâmico, alimentando este com os principais sistemas de ondas atuantes na região referente aos 30 anos de dados analisados.

Por tratar-se de um modelo de geração e propagação espectral de ondas, o SWAN lê os parâmetros de entrada de onda e os transforma em um espectro padrão de JONSWAP (Booij *et al.*, 1999). Estes parâmetros de entrada consistem em altura significativa ( $H_s$ ), período de pico ( $T_p$ ), direção média e espalhamento do espectro direcional. Ao serem traduzidos na forma de um espectro paramétrico de JONSWAP, devem ser determinadas as discretizações no domínio direcional e de frequência. Neste trabalho, as discretizações utilizadas apresentaram 36 classes de direção para a grade regional, 72 classes para a grade intermediária e 144 classes para a grade local. Com frequência de 1 a 0,02 Hz.

O modelo de ondas possui delimitação de fronteiras baseada na orientação da grade externa, neste caso na grade regional, na qual serão propagados os casos de onda. As fronteiras foram determinadas com as orientações apresentadas abaixo (Tabela 8):

**Tabela 8** – Configuração das fronteiras do modelo de ondas

<b>Fronteira</b>	<b>Orientação</b>
Norte	N
Sul	S
Leste	E

De forma a representar os processos que influenciam diretamente na característica de propagação de ondas, variáveis devem estar representadas no modelo para que ocorra a redistribuição de energia de onda em razão de seus processos atenuadores. Entre os processos principais de transformação de ondas em águas rasas, aqueles representados no SWAN e seus parâmetros configurados para o modelo aplicado podem ser observados na tabela a seguir (Tabela 9):

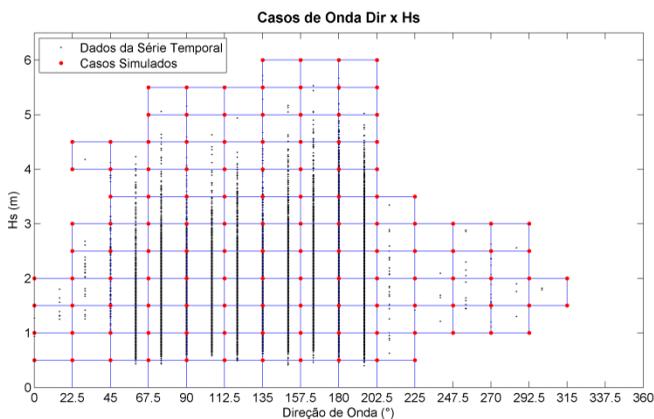
**Tabela 9** – Processos representados pelo modelo de ondas e seus respectivos parâmetros

<b>Processo</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Quebra induzida pela profundidade	Alpha	1
	Gama	0.73
Fricção com o fundo	Tipo	JONSWAP
	Coefficiente	0.067
Difração	Coefficiente de suavização	0.5
	Passos de suavização	200
Força de distribuição de energia	Tensor de radiação	-

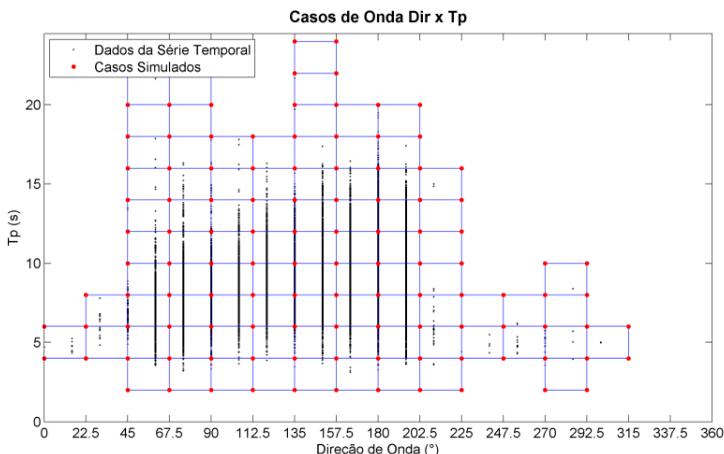
#### 4.7.2.1 Hipercubo

O método de hipercubo, como explicado no ítem 3.5.1, permite obter os parâmetros de onda (Hsi, Tpi e Diri) a partir da interpolação dos resultados de diferentes combinações de Hs, Tp e Dir. Inicialmente, através de uma rotina de matlab, foram selecionados 723 casos, do total de 43832 casos de onda da série temporal de 30 anos (1980 à 2009), para propagação de águas profundas para águas rasas. Esses casos consistem em combinações entre Hs, Tp e Dir em águas profundas, discretizadas em classes com resolução de 0,5m, 2 s e 22.5° ,

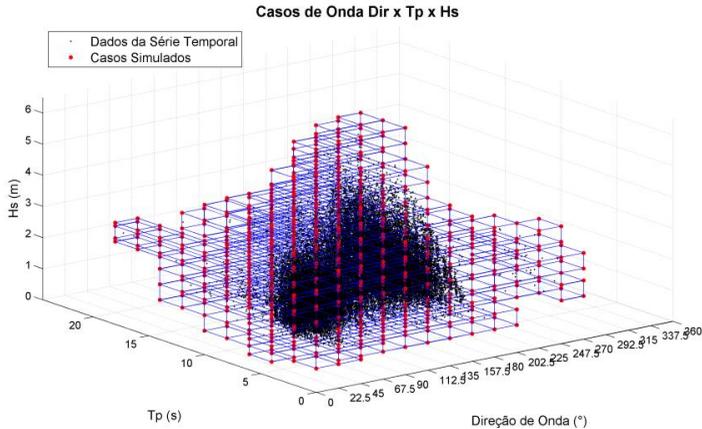
respectivamente. Os casos seleccionados podem ser visualizados na Figura 32 (Hs x Dir), Figura 33 (Tp x Dir) e Figura 34 (Hs x Tp x Dir).



**Figura 32** - Casos de onda (Dir x Hs) seleccionados para as propagações de onda (pontos vermelhos) a partir de todos os casos de onda registrados para os 30 anos (pontos pretos).



**Figura 33** - Casos de onda (Dir x Tp) seleccionados para as propagações de onda (pontos vermelhos) a partir de todos os casos de onda registrados para os 30 anos (pontos pretos).



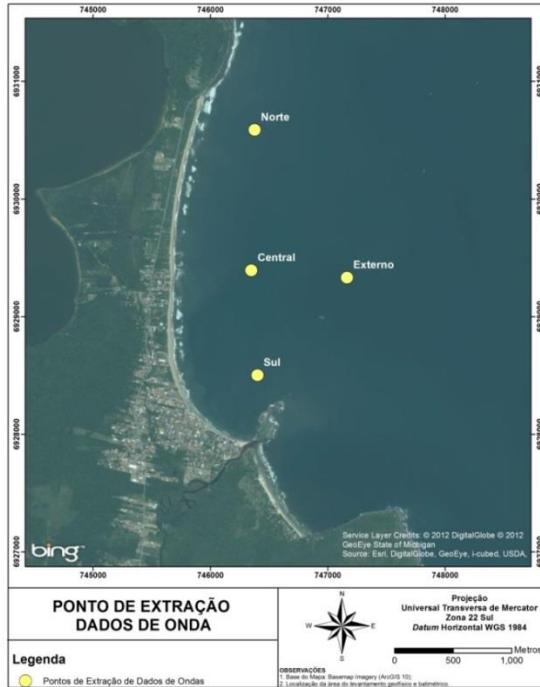
**Figura 34** - Casos de onda (Dir x Hs x Tp) selecionados para as propagações de onda (pontos vermelhos) a partir de todos os casos de onda registrados para os 30 anos (pontos pretos).

Após a propagação dos 723 casos de ondas, a série de dados (Hs, Tp e Dir) foi reconstruída nos pontos mostrados na Tabela 10 e Figura 35, localizados em frente à área de estudo.

Ao final, a série temporal interpolada para os pontos definidos em águas rasas possui o mesmo tamanho que a série temporal original (de águas profundas).

**Tabela 10** – Pontos de reconstrução da série temporal.

Ponto	M e N	Coordenadas	Profundidade (m)
Norte	48 e 55	48° 30' 03.37" W 27° 43' 35.56" S	10
Central	89 e 51	48° 30' 03.53" W 27° 44' 14.40" S	10
Sul	130 e 46	48° 30' 0.96" W 27° 44' 43.29" S	9,3
Externo	97 e 76	48° 29' 33.76" W 27° 44' 15.87" S	14,5



**Figura 35** - Pontos escolhidos para reconstrução da série de ondas em águas rasas.

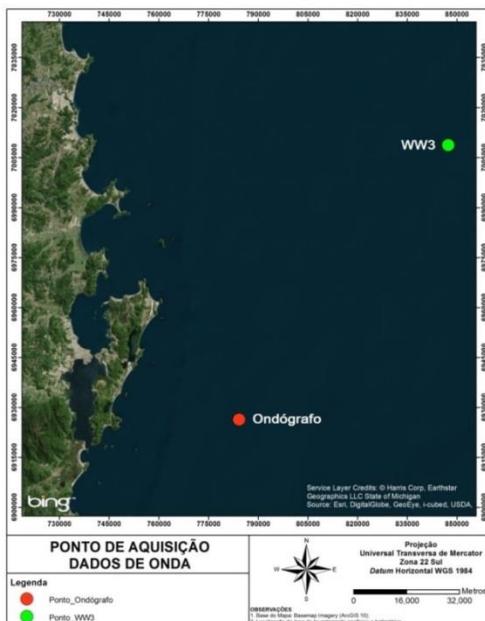
### Validação

A fim de validar os dados de onda extraídos do modelo WW3 e o método de hipercubo nos quais eles foram propagados, utilizou-se uma série de dados medidos por ondógrafo ao largo da Ilha de Santa Catarina.

Estes dados foram coletados de 2002 à 2005 por um ondógrafo fundeado a 35 km da costa, em torno de 80 metros de profundidade, pelo Laboratório de Hidráulica Marítima (Lahimar) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

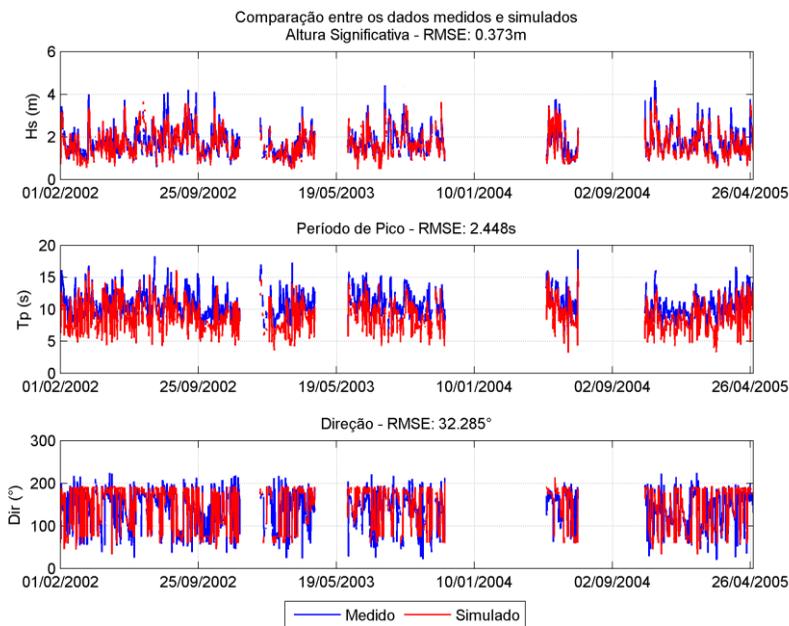
Do pacote de 30 anos de dados de onda do modelo WW3, foram recortados os dados de período idêntico aos dados do ondógrafo (2002 à 2005) e processados seguindo a mesma metodologia apresentada no início deste ítem. Seguindo a metodologia do hipercubo, 456 casos de onda foram selecionados para propagação (combinação entre  $H_s$ ,  $T_p$  e  $Dir$ ). Após a propagação destes

casos de ondas, a série de dados foi reconstruída no ponto com as coordenadas de localização do ondógrafo: 27°45'28" S e 48°07'00" W (Figura 36).



**Figura 36** - Localização dos pontos: Wave Watch 3 e ondógrafo, dos quais foram extraídas as séries de dados de onda para as simulações de propagação de ondas (águas rasas para água profundas).

Esta parte da série de dados do modelo WW3 propagada e reconstruída no mesmo ponto de aquisição dos dados do ondógrafo foi comparada a série de dados medida pelo ondógrafo. Através da Figura 37 observa-se que os dados medidos e simulados de altura significativa ( $H_s$ ) e período de pico ( $T_p$ ) apresentaram uma boa similaridade, com valores de RMSE (*root mean square error* – raiz do erro quadrático médio) de 0,37 m para  $H_s$  e 2,44 s para  $T_p$ . Com os dados simulados subestimados em relação aos medidos. Discordando do padrão encontrado por Melo Filho *et al.*, (2008), onde os dados simulados de WW3 tender a superestimar os medidos. Já os dados de direção apresentaram um valor mais elevado de RMSE ( $32,285^\circ$ ). Este fato pode ser explicado pelos dados simulados utilizados terem sido extraídos do modelo WW3 de uma forma em que os dados de direção foram agrupados em classes direcionais de 15 em  $15^\circ$ .



**Figura 37** – Comparação dos dados medidos e simulados de altura significativa (Hs), período de pico (Dp) e direção de pico (Dp).

#### 4.7.2.2 Esquematização dos casos de ondas

Para a seleção dos casos de ondas foram utilizados os dados de ondas em águas profundas e águas rasas propagados e extraídos no “ponto externo”. A seleção dos casos foi feita através de uma rotina elaborada em ambiente matlab que varre o registro completo de dados de ondas em águas profundas e águas rasas, calcula o fluxo de energia associado às ondas de cada registro e delimita uma "janela" de direções em águas profundas, a qual inclui 95% da energia das ondas observada na praia. Os dados de ondas em águas profundas que se encontram dentro dessa janela foram divididos em 4 setores direcionais, de modo que cada setor possua o mesmo valor de fluxo de energia que os outros. Cada setor direcional foi dividido em 3 classes de altura (também pelo seu fluxo de energia), resultando em um total de 12 classes. Na Tabela 11 são apresentadas as características de cada caso de onda selecionado.

**Tabela 11** - Características dos casos de ondas simulados e suas respectivas frequências de ocorrência.

<b>Caso (n°)</b>	<b>Hs (m)</b>	<b>Tp (s)</b>	<b>Dir (°)</b>
1	1,03	6,88	47,82
2	1,44	7,47	54,33
3	1,86	8,21	55,20
4	1,16	7,55	79,99
5	1,72	7,96	83,15
6	2,48	8,55	85,21
7	1,36	9,31	143,5
8	2,14	9,79	146,2
9	3,15	10,55	147,9
10	1,63	10,13	180
11	2,5	10,63	180
12	3,43	11,1	180

### 4.7.3 Configuração do modelo hidrodinâmico e de transporte de sedimentos

Nesta etapa do trabalho, padrões de processos hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos na enseada serão analisados de acordo com os 12 casos de ondas apresentados na Tabela 11. Esta análise busca compreender a influência de cada condição de onda na alteração da morfologia e no transporte de sedimentos.

O procedimento típico para modelagem morfológica é o acoplamento de módulos de um modelo, ou utilização de diversos modelos específicos. No caso do modelo Delft3D, seu módulo único de hidrodinâmica, transporte de sedimentos e morfologia comunica-se com o modelo espectral de ondas SWAN através do módulo Delft3D-Wave, com processos de interação entre onda e corrente. Neste, dados de batimetria, nível de água e corrente são atualizados em relação ao domínio hidrodinâmico, com base em um intervalo de comunicação.

Este processo fundamental requer a realização de diversos testes de forma a inferir sobre a estabilidade numérica do modelo hidrodinâmico e eliminação de possíveis fontes de ruído. Na Tabela 12 são apresentados os parâmetros básicos utilizados no modelo após estes testes de estabilidade.

**Tabela 12** – Parâmetros utilizados no modelo hidrodinâmico e de transporte de sedimentos

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
------------------	--------------

Frações de Sedimento	3
Intervalo de tempo (min)	0.25
Densidade da água (kg/m <sup>3</sup> )	1025
Rugosidade (Chèzy)	65

A utilização de três frações de sedimento é uma ferramenta do modelo Delft3D que possibilita a representação do gradiente granulométrico observado no estudo granulométrico apresentado no item 5.4 Utilizou-se a fração de sedimento mais representativa para cada setor praial, de acordo com a análise granulométrica realizada: areia grossa para o setor Norte (Sedimento\_1), areia muito grossa para o setor Central (Sedimento\_2) e areia fina para o setor Sul (Sedimento\_3). As características das três frações utilizadas no modelo da praia da Armação podem ser observadas na Tabela 13.

**Tabela 13** – Características das frações de sedimento utilizadas no modelo da praia da Armação

Fração	Densidade do Leito (kg/m <sup>3</sup> )	Densidade específica (kg/m <sup>3</sup> )	Diâmetro (µm)
Sedimento_1	1600*	2650*	600
Sedimento_2	1600*	2650*	1200
Sedimento_3	1600*	2650*	150

\*Valores correspondentes ao padrão para sedimentos arenosos

O intervalo de tempo do modelo foi determinado através do número de *Courant* (Cr) (Eq. 37). Esta variável adimensional é calculada através da relação:

$$Cr = \frac{\Delta t \sqrt{gH}}{\{\Delta x, \Delta y\}} \quad (Eq. 37)$$

Onde  $\Delta t$  é o intervalo de tempo, H a profundidade local e  $\{\Delta x, \Delta y\}$  o termo que expressa o tamanho da célula em cada componente direcional da grade numérica, sendo utilizado o menor intervalo espacial. Isolando o termo de interesse, temos (Eq. 38):

$$\Delta t = \frac{10\{\Delta x, \Delta y\}}{\sqrt{9,84H}} \quad (Eq. 38)$$

No manual do modelo hidrodinâmico (DELFT3D-FLOW, 2007), é sugerido que o valor de Cr não deve exceder 10. De forma a garantir a

eficiência dos modelos em tempo de simulação, o valor máximo de Cr foi utilizado para determinar o intervalo de tempo a ser utilizado em cada elemento de grade. O valor escolhido após cálculo do número de Courant e rodadas testes foi 0,25 minutos (15 segundos).

Nas condições de fronteira foi utilizada a forçante de série temporal do tipo Neumann para as fronteiras Norte e Sul. Este tipo de fronteira só pode ser aplicado nas fronteiras perpendiculares a linha de costa, e é utilizado para impor um gradiente de nível d'água ao longo da costa. Inferindo o valor zero a fronteira do tipo Neumann, o nível é considerado constante entre as fronteiras e as correntes correm livres, em processos reflexivos. Já para a fronteira Leste, paralela a linha de costa, foi utilizada a fronteira do tipo nível de água, a fim de caracterizar os processos de maré (Tabela 14).

**Tabela 14** – Caracterização das fronteiras do modelo hidrodinâmico

<b>Fronteira</b>	<b>Forçante</b>	<b>Tipo</b>
Norte	Série Temporal	Neumann
Sul	Série Temporal	Neumann
Leste	Série Temporal	Nível de água

A série temporal utilizada na fronteira Leste foi obtida através de uma técnica conhecida como *Maré morfológica*. Segundo Latteux (1995) e De Vriend *et. al* (1993), a maré real pode ser substituída por uma maré simplificada, com a condição de que esta deve produzir a mesma componente residual de transporte e padrões de alteração morfológica que a maré real, em todos os pontos da região de interesse e para o período de análise. Esta substituição busca diminuir o esforço computacional e reduzir a estocasticidade do sinal mareal, uma vez que os padrões de transporte de sedimento na área de interesse possam ser representados em um ciclo completo de maré (sizígia e quadratura). Para compor a maré morfológica foi utilizado a direferença entre os valores máximos e mínimos de sizígia para região (0,84 m). Este valor foi retirado da tabela de constantes harmônicas da estação maregráfica de Florianópolis (Porto) (267) disponibilizado pela Fundação de Estudos do Mar da Marinha do Brasil (FEMAR). A mesma pode ser encontrada no Anexo B.



## **5 Resultados e Discussão**

### **5.1 Evolução da Ocupação do Solo**

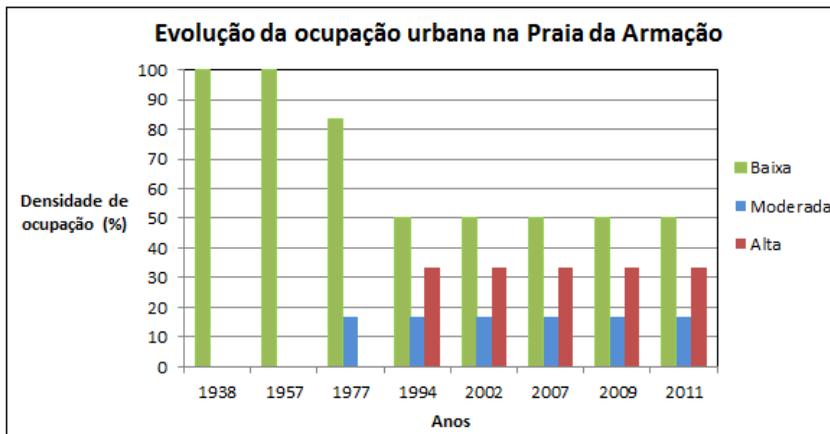
Os resultados da análise de evolução da ocupação do solo na praia da Armação nos indica que o processo de urbanização da enseada teve início após a década de cinquenta (Tabela 15). E se manteve de forma bem moderada, até no mínimo o fim da década de setenta, com 83,33% da zona costeira com baixa densidade. E foi a partir de então, e até o ano de 1994, que a praia sofreu um forte processo de ocupação, passando a ter 33,33% de sua área intensamente ocupada. Tal processo, ocorrido entre os anos de 1977 e 1994, estagnou neste

período, não se observando mudanças significativas de ocupação desta data até 2011 (Figura 38).

**Tabela 15** – Classes de densidade (%) encontradas para cada imagem (data) analisada. Grau de ocupação por classe: Baixa, menor que 30%; Moderada, entre 30 e 70%; e Alta, maior que 70%.

DATAS	DENSIDADE (%)		
	Baixa	Moderada	Alta
1938	100	-	-
1957	100	-	-
1977	83	17	-
1994	50	17	33
2002	50	17	33
2007	50	17	33
2009	50	17	33
2011	50	17	33

Tais resultados corroboram com trabalhos que afirmam que a ocupação das praias de Florianópolis por moradores fixos, e não somente por turistas, teve seu auge na década de setenta e oitenta. Além do fato de que o fornecimento de energia elétrica à área do Pântano do Sul ocorreu apenas em meados da década de setenta, o que trouxe um novo impulso ao crescimento da região (ROCHA, 2003).

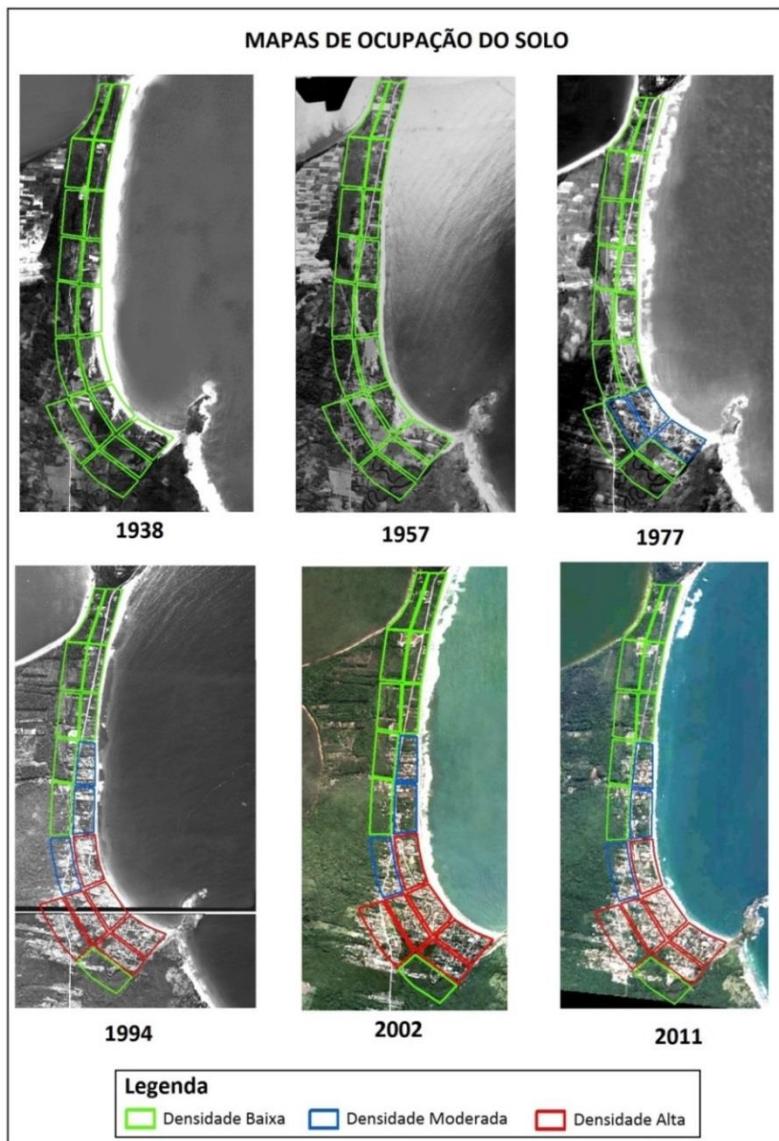


**Figura 38** – Gráfico de Evolução da ocupação urbana da Praia da Armação. Grau de ocupação por classe: Baixa, menor que 30%; Moderada, entre 30 e 70%; e Alta, maior que 70%.

As taxas de ocupação, quando analisadas por setores da praia (Norte, Central e Sul), apresentam valores bem distintos. O setor Norte, para todo o período analisado, permaneceu com nível de densidade baixa de ocupação (Tabela 16 e Figura 39).

**Tabela 16** - Classes de densidade (%) encontradas para cada imagem (data) analisada, categorizada nos setores Norte, Central e Sul da praia. Grau de ocupação por classe: Baixa, menor que 30%; Moderada, entre 30 e 70%; e Alta, maior que 70%.

DATAS	DENSIDADE (%)								
	Norte			Central			Sul		
	Baixa	Mod.	Alta	Baixa	Mod.	Alta	Baixa	Mod.	Alta
1938	100	-	-	100	0	0	100	0	0
1957	100	-	-	100	0	0	100	0	0
1977	100	-	-	100	0	0	50	50	0
1994	100	-	-	33	50	17	17	0	83
2002	100	-	-	33	50	17	17	0	83
2007	100	-	-	33	50	17	17	0	83
2009	100	-	-	33	50	17	17	0	83
2011	100	-	-	33	50	17	17	0	83



**Figura 39** – Imagens analisadas (com exceção de 2007 e 2009, que apresentaram mesmo padrão 2002 e 2011) e classificadas de acordo com seu nível de ocupação em densidade baixa (< 30%), moderada (entre 30 e 70%) e alta (> 70%).

O setor Central teve sua ocupação definida entre os anos de 1977 e 1994, tendo 50% de sua área moderadamente ocupada e 16,67% com alta densidade ocupacional. O setor Sul é o mais urbanizado das três regiões. Ao contrário dos outros setores, em 1977 já apresentava uma ocupação moderada (55%) bem próxima a praia. Devido a proteção desse trecho da praia pela Ilha das Campanhas, muitos pescadores abrigavam seus barcos e fixaram residência no local. Já a partir de 1994, 83,33% da sua área estava altamente ocupada. Com apenas uma pequena área, mais distante da orla, com baixa ocupação.

Além da densidade de ocupação, outro fator de relevante importância é a forma com que se dá tal urbanização. No setor sul (Figura 40) e em trechos do setor Central verifica-se que as residências foram construídas imediatamente após o pós-praia, sobre as dunas primárias. Gerando uma fixação de parte do estoque sedimentar subaéreo, que, em evento de alta energia, tem como objetivo conter o avanço do mar e suprir o sistema praiado. O ambiente então se torna vulnerável a processos erosivos decorrentes de ressacas.



**Figura 40** – Imagem aérea do setor sul da Praia da Armação (2011 e 1957 no detalhe), com visível supressão das dunas pela urbanização.

## 5.2 Variação da Linha de Costa

Primeiramente serão indicados os valores de Incerteza associado à extração de cada Linha de Costa, cujas fórmulas foram apresentadas no item 2.2.2.3. Os resultados para o erro final variam de 1,45 a 2,34 metros (Tabela 17). O valor mais alto apresentado, 2,34 metros para o ano de 1938, explica-se pela baixa qualidade da imagem desta data, no qual resultou em um erro de digitalização (Ed) mais elevado.

**Tabela 17** – Valores de Incerteza (E1), em metros, referente ao processo de Extração da Linha de Costa. Onde Eg = Erro de georreferenciamento; Ed = Erro de digitalização; Em = Erro associado à variação da maré.

**Incerteza do processo de Extração da Linha de Costa**

Ano	1938	1957	1977	1994	2002	2007	2009	2011
Eg	0,7	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Ed	2	1	1	1	1	1	1	1
Em	1	1	1	1	1	1	1	1
E1	2,34	1,54	1,47	1,45	1,45	1,47	1,45	1,45

Além do erro de digitalização (Ed), o erro associado à variação da maré (Em) também contribui para alcançarmos valores de erro final superior a 1 metro. Tal valor foi incluído no cálculo do erro final, uma vez que a feição praial utilizada como indicador de linha de costa (linha de preamar média) sofre deslocamento com a variação da maré.

Tais valores também podem ser analisados para um período, onde os erros são somados e anualizados (Tabela 18).

**Tabela 18** – Valores de Incerteza entre duas Linhas de Costa (Ea) em metros por ano (m/ano).

**Incerteza entre duas Linhas de Costa**

Período	1938 - 1957	1957 - 1977	1977 - 1994	1994 - 2002
Ea	0,15	0,11	0,12	0,26
Período	2002 - 2007	2007 - 2009	2009 - 2011	1938 - 2011
Ea	0,41	1,03	1,02	0,04

Para os valores de Deslocamento entre duas linhas de costa, em metros, são somadas os valores de Incerteza das duas imagens analisadas, apresentados na Tabela 17.

Os resultados obtidos serão apresentados em taxas de variações anuais (metros por ano) e deslocamento total (metros) da linha de costa para diferentes períodos, associados as suas incertezas. Os resultados apresentados referem-se a média dos valores gerados nos transecto do respectivo setor: setor Norte, dos transectos 1 à 20; setor Central, dos transectos 21 à 40; setor Sul, dos transectos 41 à 63; e setor Total, dos transectos 1 à 63.

Os dados, analisados em sua totalidade, indicam que entre os anos de 1938 e 2011 (período de 73 anos) a Linha de Costa da praia da Armação apresentou um deslocamento máximo médio de - 5,29 metros ( $\pm 3,79$  m) e uma taxa de variação de - 0,07 metros por ano ( $\pm 0,04$  m/ano) (Tabela 19). Verifica-se que no setor Norte e Central a praia sofreu retração, com valores de -0,33 e - 0,36 metros por ano, e no setor Sul progradação de 0,42 metros por ano (Figura 41 e 42).

**Tabela 19** – Valores de Deslocamento da Linha de Costa em metros, e Taxa de Variação em metros por ano, e suas respectivas incerteza, para o intervalo de tempo entre os anos de 1938 e 2011. Setor Norte, Setor Central, Setor Sul e Total.

<b>Período analisado: 1938 – 2011 (73 anos)</b>		
<b>etor</b>	<b>Deslocamento Total (m)</b>	<b>Taxa de Variação (m/ano)</b>
Norte	-24,13	-0,33
Central	-26,16	-0,36
Sul	30,22	0,42
Total	-5,29	-0,07
Incerteza	$\pm 3,79$	$\pm 0,04$

Porém, este comportamento apresentado para todo o período não representa os processos que ocorreram em espaços temporais menores, principalmente nas últimas décadas.

Nas primeiras imagens analisadas (1938 – 1957; 19 anos), a linha de costa em seu total sofre progradação de 11,31 metros ( $\pm 3,88$ ) para todo o período (Tabela 15). No setor Norte e Central se observa uma retração da linha

de costa de -0,62 e -0,23 metros ao ano ( $\pm 0,15$  m/ano) respectivamente. Enquanto no setor Sul ocorre uma progradação de 2,44 metros por ano (Tabela 14).

No período seguinte, de 1957 à 1977 (20 anos), observamos o padrão parecido com o encontrado no período anterior, com o setor Norte e Central sofrendo retração e o setor Sul progradação, porém de forma mais amena. O que resulta em um deslocamento total de -4,42 metros ( $\pm 3,01$ ) para o período. O que demonstra uma interrupção ou estabilização no processo de deposição sedimentar no setor sul, resultado de falha no processo de chegada de sedimento nessa região ou severos processos de retirada do sedimento do pós praia. Este comportamento pode ser visualizado na Figura 41 e 42, onde fica bem evidente nos gráficos de Deslocamento Total e Taxas de Variação da LC.

Entre 1977 e 1994 (17 anos) os padrões de retração e progradação observados anteriormente, se invertem. O setor Norte apresenta uma taxa de variação da LC de 0,38 metros por ano ( $\pm 0,12$ ). Enquanto o setor Central e Norte, de -0,91 e -0,86 metros por ano, respectivamente. Com estes valores bem expressivos de retração, a LC no total sofre um deslocamento de -7,99 metros ( $\pm 2,92$ ) para o período.

Ao analisar esses últimos 17 anos (1994 – 2011) em conjunto, para uma comparação mais semelhante com os outros períodos, verifica-se um processo de retração de linha de costa em todos os setores da praia, fato não verificado em nenhum período anterior (Tabela 20). Com o setor Sul sofrendo o processo mais intenso, com -0,39 metros por ano ( $\pm 0,12$ ).

**Tabela 20** – Valores de Deslocamento da Linha de Costa (m), e Taxa de Variação (m/ano), e suas respectivas incertezas, para o intervalo de tempo entre os anos de 1994 e 2011.

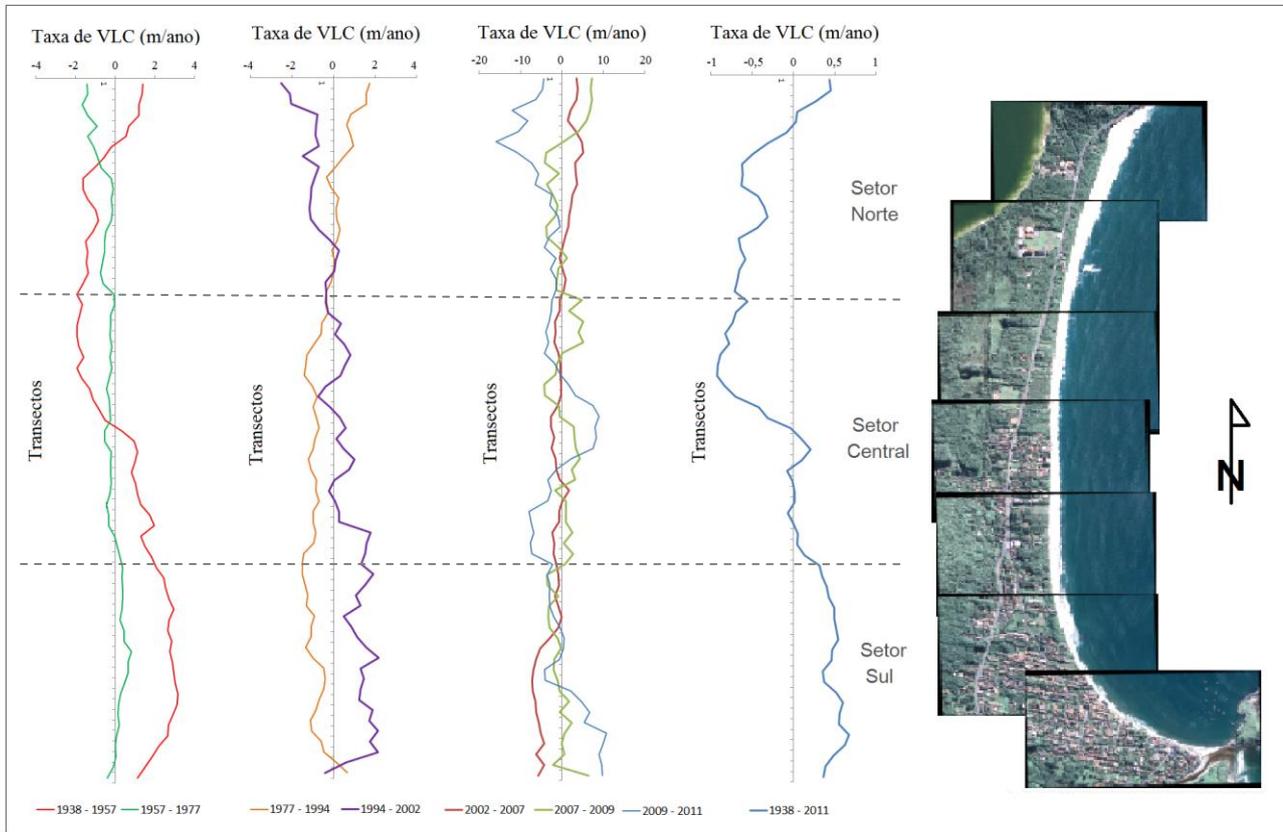
<b>Período analisado: 1994 – 2011 (17 anos)</b>		
<b>Sector</b>	<b>Deslocamento Total (m)</b>	<b>Taxa de Variação (m/ano)</b>
Norte	-4,95	-0,29
Central	-0,48	-0,02
Sul	-6,75	-0,39
Total	-4,19	-0,24
Incerteza	$\pm 2,90$	$\pm 0,12$

**Tabela 21** – Valores de Deslocamento total e Incerteza (m), para cada período analisado, para a praia em sua extensão total (média de todos os transectos) e para cada setor (média dos transectos de cada setor). Setor Norte: transectos 1 à 20; Setor Central: transectos 21 à 40; Setor Sul: transectos 41 à 63.

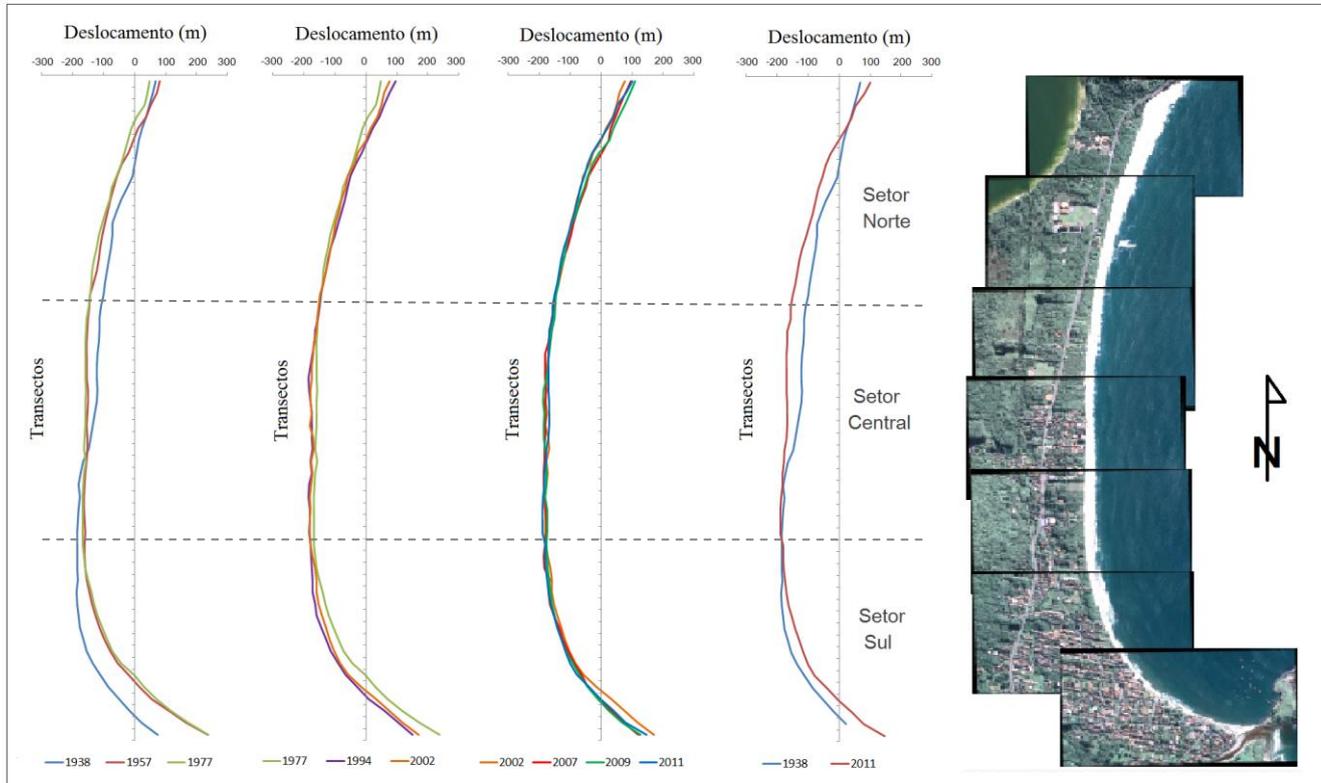
Setor	1938 - 1957	1957 - 1977	1977-1994	1994 - 2002	2002 - 2007	2007 - 2009	2009 - 2011
Norte	-11,89	-13,84	6,55	-6,89	10,91	1,52	-10,49
Central	-4,42	-5,74	-15,51	1,83	-4,90	2,34	0,25
Sul	46,30	5,35	-14,74	11,13	-19,05	-0,66	1,83
Total	11,31	-4,42	-7,99	2,30	-4,78	0,99	-2,71
Incerteza	± 3,88	± 3,01	± 2,92	± 2,90	± 2,92	± 2,92	± 2,90

**Tabela 22** - Valores de Taxa de Variação da Linha de Costa e Incerteza (m/ano), para cada período analisado, para a praia em sua extensão total (média de todos os transectos) e para cada setor (média dos transectos de cada setor). Setor Norte: transectos 1 à 20; Setor Central: transectos 21 à 40; Setor Sul: transectos 41 à 63.

Setor	1938 - 1957	1957 - 1977	1977-1994	1994 - 2002	2002 - 2007	2007 - 2009	2009 - 2011
Norte	-0,62	-0,69	0,38	-0,86	2,18	0,76	-5,25
Central	-0,23	-0,28	-0,91	0,23	-0,98	1,17	0,12
Sul	2,44	0,26	-0,86	1,39	-3,81	-0,33	0,91
Total	0,59	-0,22	-0,47	0,29	-0,96	0,50	-1,36
Incerteza	± 0,15	± 0,11	± 0,12	± 0,26	± 0,41	± 1,03	± 1,02



**Figura 41** – Taxas de Variação da Linha de Costa para todos os períodos analisados



**Figura 42** – Valores de Deslocamento da Linha de Costa para todas as imagens analisadas

No intervalo compreendido entre 1994 e 2002, a linha de costa progradou em uma taxa de 0,29 metros por ano ( $\pm 0,26$ ). Com setor Norte sofrendo retração de -6,89 metros e o setor Central e Sul progradação de 1,83 e 11,13 metros. De 2002 à 2007, ocorre uma progradação no setor Norte de 10,91 metros e uma forte retração no setor Sul de -19,05 metros ( $\pm 2,92$ ). Entre 2007 e 2009 o padrão se mantém com valores mais amenos, com exceção do setor Central que sofre progradação. E por fim, de 2009 à 2011 a LC sofre forte retração no setor Norte de -5,25 metros por ano ( $\pm 1,02$ ) e pequena progradação nos outros setores.

Observa-se que, com exceção do período de 1977 – 1994, as maiores variações de linha de costa ocorrem nas extremidades da enseada, ora no setor Sul, ora no setor Norte. Tal comportamento é comum em praias de enseada, que possuem sua parte retilínea relativamente estável, com maiores variações de linha de costa nas porções curvas.

Tais taxas de retração da LC, em especial no setor Sul nas duas últimas décadas, também foram verificadas por Mazzer (2007).



### 5.3 Perfil de equilíbrio em planta

Com base na metodologia do Modelo Parabólico proposto por Hsu & Evans (1989), verificou-se, através do *software* MEPPE 2.0, a estabilidade do perfil em planta da praia da Armação.

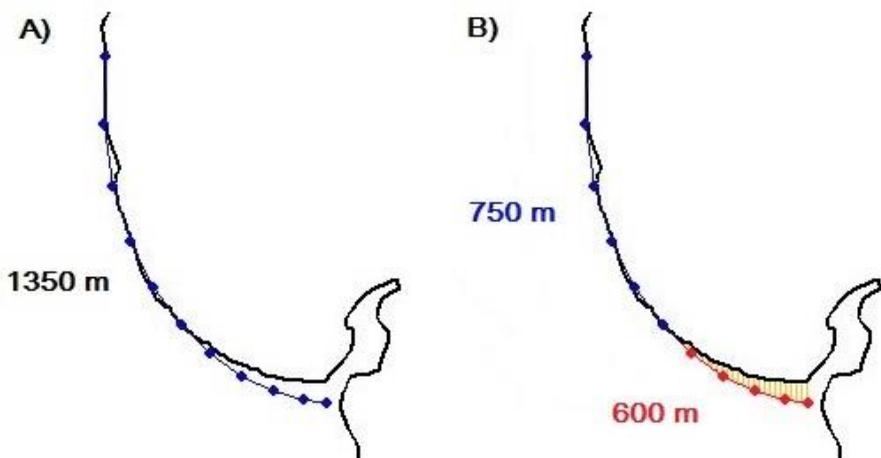
Definiu-se como ponto de Difração a extremidade da Ilha das Campanhas. E como direção predominante de ondas o quadrante leste, referente a parte mais retilínea da linha de costa (Figura 43).



**Figura 43** – Definição da Linha da Crista de Ondas e do Ponto de Difração. Resultado da Linha de Costa Teórica obtida através do *software* MEPPE 2.0

O Modelo Parabólico de Hsu & Evans (1989) foi aplicado para o setor sul e parte do setor central da praia da Armação. Portanto, a aplicação do Modelo contemplou um comprimento total de 1.350 metros da linha de costa, abrangendo a região da praia mais vulnerável aos processos erosivos (Figura 44 – A).

Comparando a linha de costa existente com a linha de costa teórica obtida com a aplicação do modelo foi possível caracterizar uma situação de equilíbrio dinâmico. De 1350 metros de praia analisados, 600 metros da Linha de Costa Teórica não correspondem a Linha de Costa atual (Figura 44 – B).



**Figura 44** – A) Dimensão da linha de costa analisada; B) Fração da Linha de Costa Teórica que corresponde posição da Linha de Costa atual, igual a 750 metros (azul) e, fração da Linha de Costa Teórica que não corresponde a posição da Linha de Costa atual, igual a 600 metros (vermelho - hachurada).

Mudanças na configuração da linha de costa ocorrem em praias que ainda não se ajustaram ao regime de ondas prevalecentes. De acordo com Silvester (1974), uma linha de praia em planta torna-se estável quando alcança uma forma que se ajusta ao padrão de ondas refratado. Entretanto, uma praia em equilíbrio dinâmico terá ondas quebrando em um certo ângulo com a costa, resultando em um transporte de sedimentos longitudinal.

Portanto, de acordo com o ponto de difração e direção de ondas predominantes adotados, o modelo indica que a praia ainda busca o seu equilíbrio frente ao padrão hidrodinâmico local. E que tal estado será alcançado com a retração da linha de costa na extremidade do setor sul (zona de sombra). Porém, como já visto na análise de ocupação do solo (item 5.1), a urbanização nesta região da praia é intensa e não respeita os limites de preservação de dunas e restinga, dificultando que esse equilíbrio seja atingido.

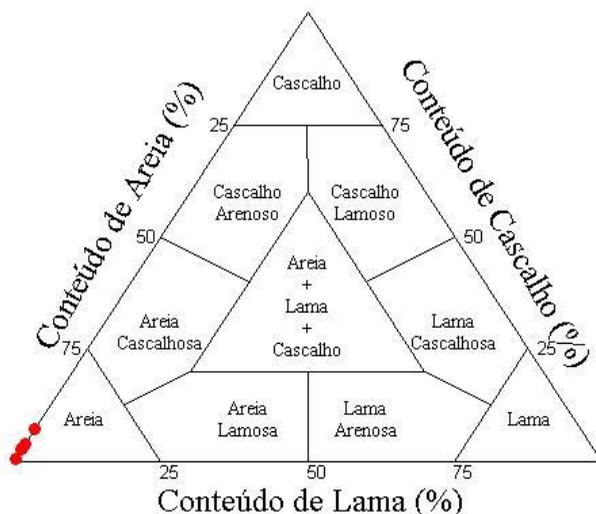
## 5.4 Análise Granulométrica

O sedimento da praia da Armação é composto essencialmente por areia, com pequenas frações de cascalho e lama (Tabela 23). No perfil S6 (setor central) foram encontrados os maiores concentrações de cascalho (6,6%). E o setor S10 (sul) com os menores valores de cascalho é o único setor a apresentar alguma quantidade de lama (0,13%).

**Tabela 23** – Distribuição das frações de cascalho, areia e silte para cada perfil (média entre as feições analisadas - pós praia, berma e face praial).

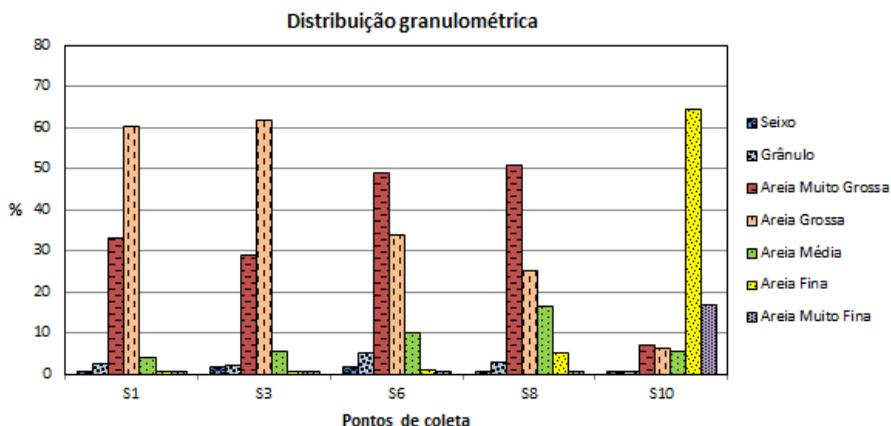
Perfil	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)
S1	3,02	96,98	-
S3	3,75	96,25	-
S6	6,60	93,40	-
S8	2,65	97,35	-
S10	0,37	99,50	0,13

Portanto, de acordo com a classificação textural de Shepard (1954), todas as amostras foram classificadas como Areia (Figura 45).



**Figura 45** - Diagrama ternário de classificação textural de Shepard (1954) para as amostras coletadas.

A análise granulométrica das 15 amostras superficiais de sedimentos de praia permitiu constatar o predomínio de diferentes classes granulométricas ao longo da enseada. No setor Norte da praia (amostras S1 e S3) a classe Areia Grossa representa 60%, a Areia Muito Grossa 30%, com as outras classes representando os 10% restantes (Figura 46). Já no setor Central (S6 e S8) ocorre o predomínio da fração Areia Muito Grossa (50%), seguida de Areia Grossa (30%), e já ocorrendo uma maior concentração de Areia Média (15%). E no setor Sul a Areia Fina representa 64% dos sedimentos e a Areia Muito Fina 16%.



**Figura 46** – Distribuição granulométrica dos cinco pontos de coleta. Os valores são resultado da média obtida entre face, berma e pós praia superior.

Verifica-se, portanto, um predomínio de Areia Fina no setor sul, passando a Areia Muito Grossa no setor Central e Areia Grossa no setor Norte (Tabela 24). Para King (1972), a distribuição dos grãos ao longo da praia são resultados da fonte do material e dos processos de deposição. A área fonte de sedimentos para esta região segundo Abreu de Castilhos (1995) são as rochas ígneas presentes ao sul e ao norte, bem como a plataforma continental, a partir do retrabalhamento dos sedimentos da planície costeira pleistocênica. Sendo a zona de material mais grosso, neste caso o setor central (S6 e S8), associado a zonas de maior energia de onda. E a área com material mais fino, o setor sul (S10), encontrada na zona de sombra e área adjacente a desembocadura do Rio Quincas D’água, possível provedor deste sedimento.

Segundo Bird (1999), os fatores responsáveis por esta gradação longitudinal de sedimentos que ocorre em praias de enseada são a energia das ondas incidentes, atrito entre os grãos, selecionamento a partir de correntes longitudinais à costa, configuração da linha de costa, características do fundo e

natureza do aporte sedimentar. Este autor afirma ainda, que a gradação lateral de sedimentos é um indicativo de que a praia está em equilíbrio com o regime de ondas incidente. E Para Carter (1988), o reconhecimento desta gradação sugere que a taxa efetiva e o volume de transporte são baixos.

**Tabela 24** –Porcentagem (%) de material por classes granulométricas segundo classificação de Wentworth (1922).

<b>Amostra</b>	<b>Seixo</b>	<b>Grân</b>	<b>AMG</b>	<b>AG</b>	<b>AM</b>	<b>AF</b>	<b>AMF</b>
Face	-	0,67	27,93	<b>67,65</b>	3,63	0,08	0,02
S1 Berma	0,05	2,67	28,04	<b>63,34</b>	5,78	0,11	0,02
PPS	1,77	3,87	42,48	<b>49,81</b>	2,04	0,02	-
Face	2,33	3,88	<b>47,28</b>	46,17	0,290	0,05	-
S3 Berma	2,19	1,67	21,18	<b>67,07</b>	7,54	0,34	-
PPS	0,89	0,30	18,58	<b>71,61</b>	8,42	0,18	0,012
Face	0,38	10,71	<b>73,61</b>	14,97	0,28	0,04	0,01
S6 Berma	-	0,290	23,32	<b>52,14</b>	22,44	1,78	0,03
PPS	4,18	4,24	<b>49,20</b>	34,56	6,64	1,09	0,06
Face	-	0,20	<b>76,21</b>	23,44	0,15	-	-
S8 Berma	0,003	7,24	<b>54,59</b>	26,34	11,44	0,40	-
PPS	-	0,51	21,19	25,30	<b>37,75</b>	14,71	0,54
Face	0,25	0,81	20,21	17,42	11,67	<b>43,78</b>	5,86
S10 Berma	-	0,05	0,25	0,64	2,29	<b>71,39</b>	25,28
PPS	-	-	0,13	0,27	2,29	<b>77,76</b>	19,24

**Legenda:** PPS = Pós praia superior, Grân = Grânulo, AMG = Areia Muito Grossa, AG = Areia Grossa, AM = Areia Média, AF = Areia Fina, AMF = Areia Muito Fina.

**Obs:** A classe Silte não está mostrada na tabela por apresentar, em todas as amostras, valores inferiores a 1%.

O padrão variado de tamanhos de grão ocorrente na Ilha de Santa Catarina foi justificado por Martins *et al.* (1970). Os autores analisaram cento e cinquenta e três amostras ao longo da ilha e identificaram a presença de duas populações, uma de areia fina (2 - 3  $\phi$ ) e outra de areia grossa e muito grossa (- 1 a 1  $\phi$ ). Os autores ainda sugerem que esta situação é comum nas praias da ilha onde as areias retrabalhadas, essencialmente finas, estão contaminadas por areias grossas que são originárias de rochas graníticas do embasamento.

Abreu de Castilhos (1995) e Horn Filho (2006) também estudaram a granulometria, em especial da Praia da Armação. Os valores encontrados por estes são bem próximos aos valores apresentados neste trabalho (Tabela 25). Com o setor Central apresentando atualmente valores médios mais grosseiros, e o setor Sul uma fração mais fina.

**Tabela 25** – Valores de Granulometria ( $\phi$ ) da Praia da Armação encontrados nos trabalhos de Abreu de Castilhos (1995) e Horn Filho (2006) em comparação com o trabalho atual (Dalbosco, 2013)

Estudos – Autores (ano)	Granulometria Praia da Armação ( $\phi$ )		
	Norte	Central	Sul
Abreu de Castilhos (1995)	0,19	0,32	1,73
Horn Filho (2006)	0,13	0,22	2,07
Dalbosco (2013)	0,16	0,12	2,41

Após a análise de tamanho de grão das amostras, se verificou parâmetros de selecionamento (desvio padrão), assimetria (ski) e curtose (kg).

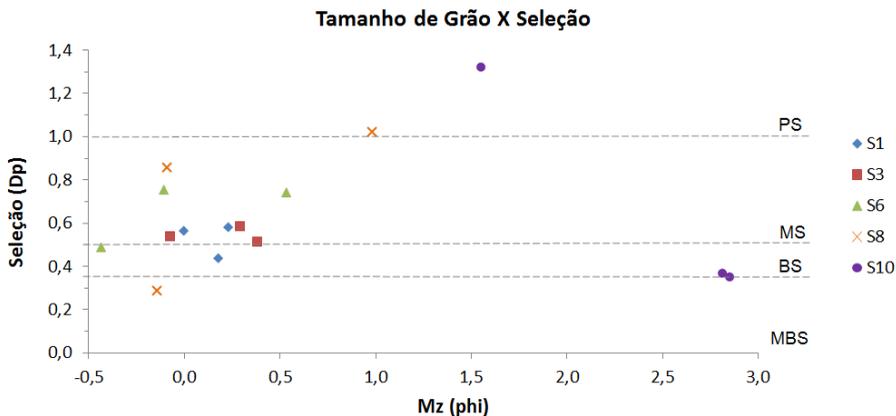
O desvio padrão ( $\sigma$ ) descreve a dispersão em relação à média. Este parâmetro está intimamente associado ao **selecionamento** da amostra que nos dá informação a respeito das flutuações do nível energético do agente deposicional, e sua capacidade de classificar os materiais mobilizados (FOLK & WARD, 1957).

O desvio padrão nas amostras S1 e S3 (norte da praia) variam de 0,434 a 0,588  $\phi$ , retratando uma distribuição bem e moderadamente selecionada (Figura 47). Observa-se também que a face praial representa a feição com os menores valores de desvio padrão (menor grau de selecionamento) enquanto a berma apresenta os maiores valores (maior grau de selecionamento) (Tabela 18).

Nas amostras S6 e S8 (setor central) os valores já se mostram mais elevados (com exceção da amostra da face praial – S8), caracterizando um menor selecionamento dos sedimentos neste trecho praial. Os valores variam em 0,283  $\phi$  (muito bem selecionado), a 1,017  $\phi$  (pobrememente selecionado). E

diferentemente do que se verifica no setor norte, os valores mais elevados de desvio padrão ocorrem no pós praia superior.

A amostra S10 (setor sul), assim como a amostra S8, caracteriza-se por apresentar valores bem distintos ao longo das feições praias analisadas. Na face praial foi encontrado o maior valor para todas as coletas, 1,321  $\phi$  (pobrememente selecionada). Enquanto que na berma e no pós praia superior, os sedimentos foram classificados como muito bem selecionados (0,348  $\phi$ ) e bem selecionados (0,367), respectivamente.



**Figura 47** – Diagrama de dispersão que relaciona a média do tamanho dos grãos (Mz) e o grau de seleção (Dp) para cada amostra. PS = Pobrememente Selecionado; MS = Moderadamente Selecionado; BS = Bem Selecionado; MBS = Muito Bem Selecionado.

A **assimetria** (Ski) de uma distribuição granulométrica traduz a posição da mediana em relação ao diâmetro médio do grão (Mz) (FOLK; WARD, 1957). Ela é dita positiva para o enriquecimento do ambiente em sedimentos finos e, negativa para o enriquecimento da distribuição em partículas mais grossas.

Nas amostras S1 e S3 (setor Norte) o comportamento da assimetria é similar, com valores aproximadamente simétricos (Tabela 26) com tendência negativa, ou seja, uma distribuição granulométrica com excesso de elementos grosseiros relativamente a uma distribuição normal (Figura 48).

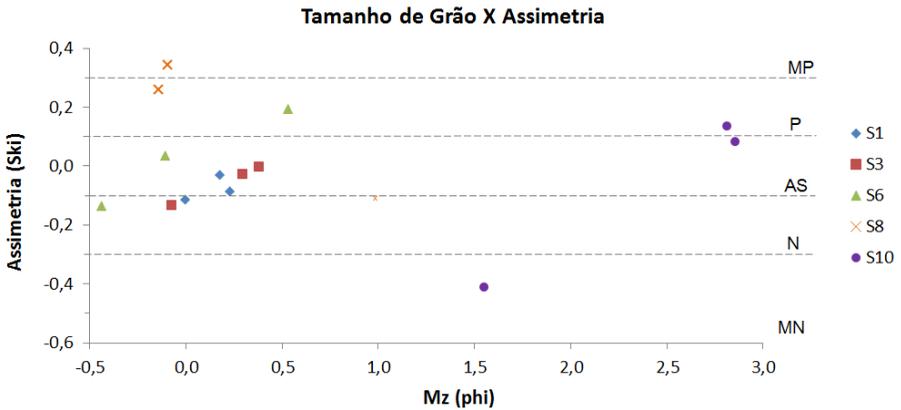
**Tabela 26** – Classificação das amostras quanto seu grau de seleção e distribuição.

Amostra	Mz ( $\phi$ )	Class.	Dp ( $\phi$ )	Sel.	Ski	Assi.	Kg	Curt.
Face	0,174	AG	0,434	BS	-0,031	AS	1,156	L
S1 Berma	0,228	AG	0,578	MS	-0,087	AS	1,062	M
PPS	-0,004	AMG	0,560	MS	-0,113	N	1,118	L
Face	-0,074	AMG	0,541	MS	-0,131	N	1,150	L
S3 Berma	0,292	AG	0,588	MS	-0,026	AS	1,321	L
PPS	0,378	AG	0,513	MS	-0,001	AS	1,047	M
Face	-0,437	AMG	0,486	BS	-0,136	N	1,079	M
S6 Berma	0,533	AG	0,740	MS	0,194	N	0,994	M
PPS	-0,108	AMG	0,751	MS	0,037	AS	1,506	ML
Face	-0,143	AMG	0,283	MBS	0,259	P	1,080	M
S8 Berma	-0,091	AMG	0,854	MS	0,342	MP	0,834	P
PPS	0,984	AG	1,017	PS	-0,109	N	0,764	P
Face	1,552	AM	1,321	PS	-0,412	MN	0,594	MP
S10 Berma	2,855	AF	0,348	MBS	0,082	AS	1,339	L
PPS	2,814	AF	0,367	BS	0,136	P	1,626	ML
Geral	0,597	AG	0,625	MS	0,000	AS	1,111	L

**Legenda:** Mz = diâmetro médio do grão; Class = Classificação (AMG = Areia Muito Grossa, AG = Areia Grossa, AM = Areia Média, AF = Areia Fina); Dp = grau de seleção; Sel. = Seleção (MBS = Muito Bem Selecionado, BS = Bem Selecionado, MS = Moderadamente Selecionado, PS = Pobrememente Selecionado); Assi = Assimetria (MP = Muito Positiva, P = Positiva, AS = Aproximadamente Simétrico, N = Negativa, MN = Muito negativa); Curt. = Curtose (ML = Muito Leptocúrtica, L = Leptocúrtica, M = Mesocúrtica, P = Platicúrtica, MP = Muito Platicúrtica).

Na amostra S8 (setor central) a distribuição é bem heterogênea, com valores de 0,259 (assimetria positiva) na face praial, 0,342 (assimetria muito positiva) na berma praial (Figura 48). Tais valores são resultados da predominância de material grosseiro (areia muito grossa) nestas feições, com a cauda positiva puxando para o sedimento menos grosseiro (areia grossa e média). Ocorrendo o inverso no pós praia superior, onde observa-se a predominância da areia média, com a cauda puxando para sedimentos mais grosseiros (assimetria negativa).

Na amostra S10 (setor sul), verifica-se também uma elevada variação dos valores de assimetria conforme a feição praial analisada. A face praial apresentou assimetria muito negativa (-0,412), tendo como predominante a fração de areia fina e a areia muito grossa como a segunda classe mais representativa. Já a berma praial possui uma distribuição assimétrica (0,082) e o pós praia superior positiva (0,136), tendo sua cauda puxando para os sedimentos mais finos.



**Figura 48** – Diagrama de dispersão que relaciona a média do tamanho dos grãos (Mz) e assimetria (Ski) para cada amostra. MP = Muito Positiva; P = Positiva; AS = Aproximadamente Simétrica; N = Negativa; MN = Muito Negativa

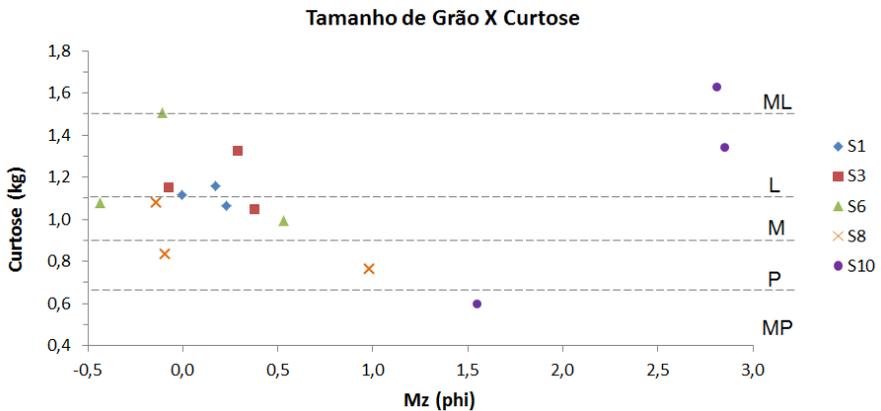
A **curtose** (kg) é o grau de achatamento de uma distribuição em relação a normal. Designa-se como leptocúrtica a curva com um pico elevado, platicúrtica a uma curva achatada e mesocúrtica a intermediária (ANDRIOTTI, 2010).

Nas amostras S1 e S3 (setor Norte) há o predomínio das amostras leptocúrticas e ocorrência de mesocúrticas (Figura 49). Isso demonstra o

quanto os sedimentos estão concentrados nas classes granulométricas Areia Grossa e Muito Grossa.

Já nas amostras S6 e S8 (setor Central) as amostras passam de mesocúrticas (face e berma praial da amostra S6) para platicúrticas (berma praial e pós praia superior da amostra S8). Tal comportamento indica a inserção de outras classes granulométricas (Areia Média e Fina) com maior representatividade do que nas amostras anteriores.

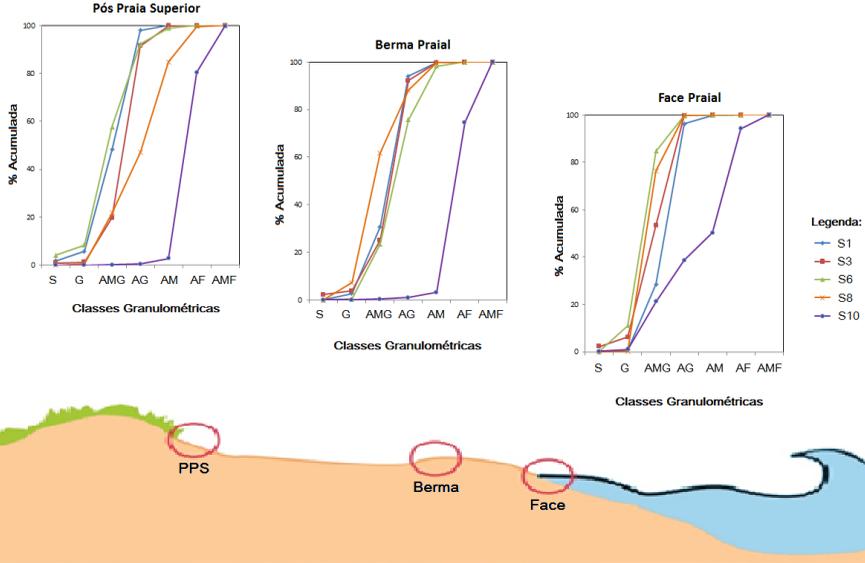
Na amostra S10 (setor Sul) verifica-se aquela heterogeneidade entre as feições praias já citada anteriormente. Com a face praial apresentando valores de uma curva muito platicúrtica, ou seja, a ocorrência de um equilíbrio de concentração entre diversas classes granulométricas. E a berma praial e o pós praia com amostra leptocúrtica e muito leptocúrtica respectivamente. Com o grande pico de ocorrência (maior que 70%) na classe granulométrica Areia Fina.



**Figura 49** – Diagrama de dispersão que relaciona a média do tamanho dos grãos (Mz) e a curtose (Kg) para cada amostra. ML = Muito Leptocúrtica; L = Leptocúrtica; M = Mesocúrtica; P = Platicúrtica; MP = Muito Platicúrtica.

Além da variação longitudinal da granulometria, verifica-se também, como já mencionado, uma diferenciação entre as feições praias analisadas. Realizando uma média de tamanho de grão para cada feição, todas estas são classificadas como areia grossa. Porém, a face praial apresenta o menor valor (0,160  $\Phi$ ), a berma praial o valor intermediário (0,763  $\Phi$ ) e o pós praia o maior valor (0,813  $\Phi$ ). Ou seja, ocorre uma diminuição do tamanho médio do grão em direção ao continente (Figura 50).

MARTINS (1967) atribuiu tal comportamento em razão da mudança do agente transportador hidrodinâmico para o eólico. O vento vai selecionando gradativamente os grãos mais finos, mais sensíveis ao transporte, deixando para trás os grãos mais grosseiros.



**Figura 50** – Gráficos de frequência acumulada das classes granulométricas para as três feições praias analisadas: pós praia superior (PPS), berma praia e face praia.

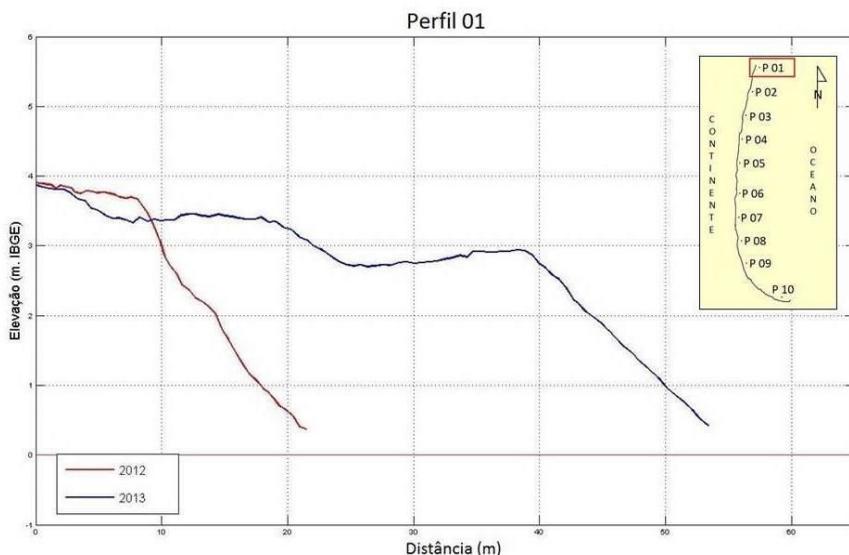
Bascom (1951) sugere que a berma, juntamente com o degrau da praia, são as zonas que apresentam os sedimentos mais grossos devido à ação da máxima excursão vertical do espraiamento da onda sobre a face da praia. Tal comportamento não foi verificado neste trabalho.



## 5.5 Perfil praiual emerso

Nas figuras abaixo (Figura 51 a 63) são exibidos os perfis sobrepostos do Campo I e II dos 10 pontos coletados.

O Perfil 01 (Figura 51 e 52), localizado no extremo do setor norte, apresentou altura máxima de 3,92 metros e um intenso processo de deposição de sedimentos entre as campanhas, variando sua extensão de 22 a 53 metros. Possivelmente, esse incremento de volume sedimentar na porção emersa da praia foi resultado de um decaimento dos níveis energéticos entre os períodos. Com a incidência de ondas mais baixas e menos esbeltas transportando novamente os sedimentos em direção à praia, fazendo os bancos migrarem até soldarem-se as mesmas.



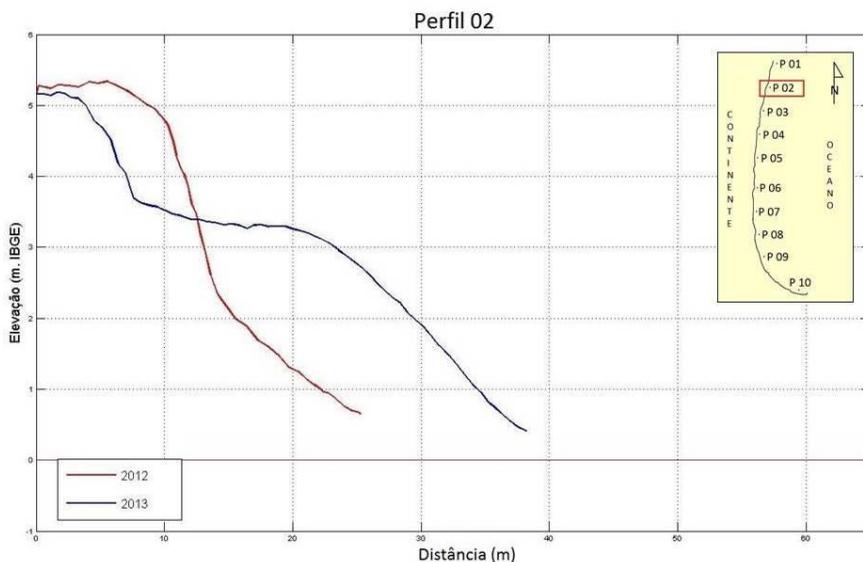
**Figura 51** – Perfil praiual 01 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013



**Figura 52** – À esquerda Perfil 01 no Campo I e à direita Perfil 01 no Campo II

No Perfil 02 (Figura 53 e 54), localizado 300 metros ao sul do anterior, verifica-se uma migração do pacote sedimentar subaéreo do pós praia superior para o pós praia inferior e face praial, também com um incremento de sedimentos. Possui altura máxima de 5,34 metros e sua extensão variou de 25 a 38 metros entre as campanhas.

Ambos perfis (01 e 02) mostram uma praia com crista de berma bem pronunciada e alta declividade na face. É um setor de intensa variabilidade de forma, que recebe tanto ondas de E-ENE quanto de S-ESE.

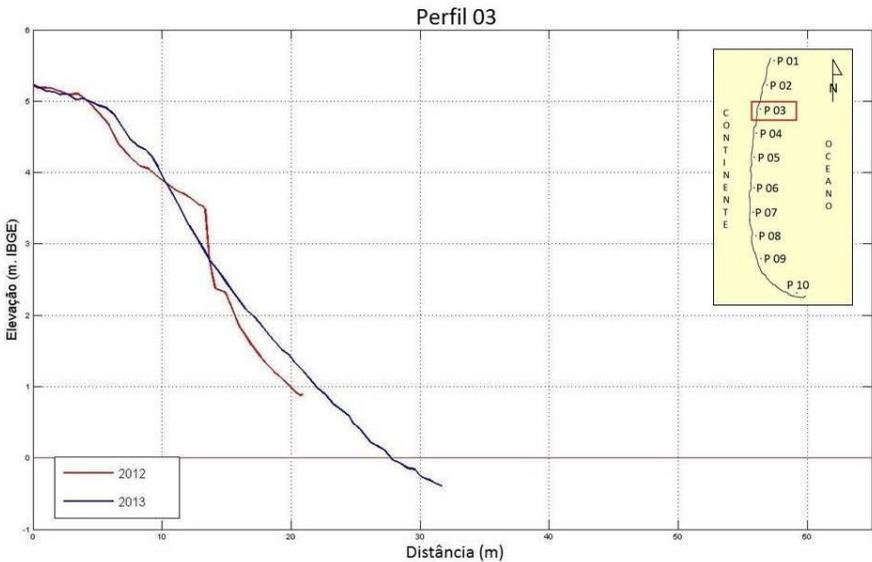


**Figura 53** – Perfil praial 02 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013



**Figura 54** – À esquerda Perfil 02 no Campo I e à direita Perfil 02 no Campo II

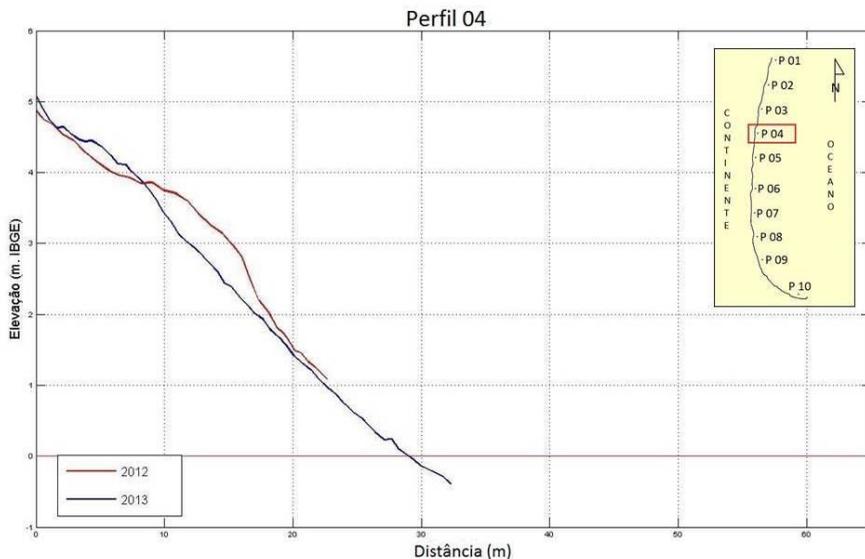
Já o Perfil 03 e 04 (Figura 55 e 57) se mostraram mais estáveis que os anteriores, com pequenas variações de volume e forma entre as duas campanhas. Apresentaram altura máxima de 5,24 m e extensão de 28 m. São perfis estreitos, muito inclinados e levemente côncavos. Perfis praias mais côncavos são mais estáveis do que aqueles com perfis mais retos, convexos ou irregulares, e uma vez que o perfil côncavo é atingido, se tornam relativamente (mas não absolutamente) estáveis.



**Figura 55** – Perfil praias 03 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013



**Figura 56** – Imagens dos perfis 3 à 10, obtidas durante o Campo II.

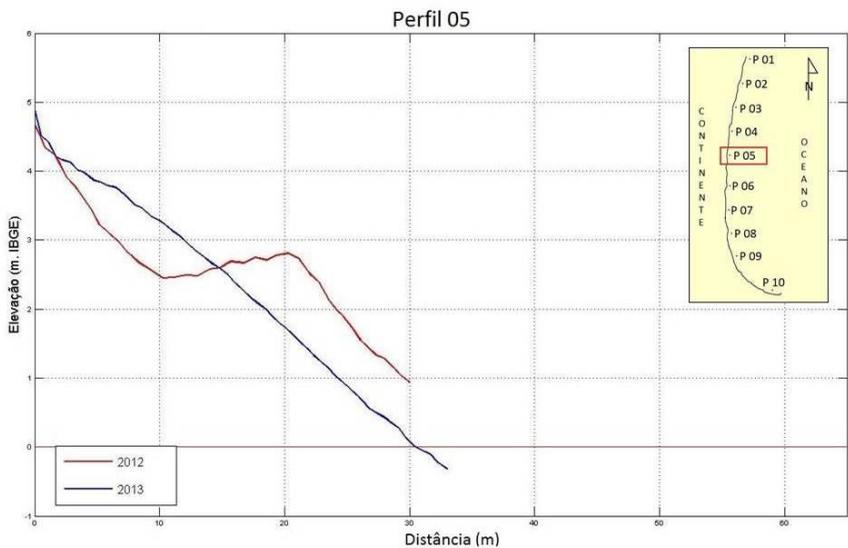


**Figura 57** – Perfil praiar 04 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013

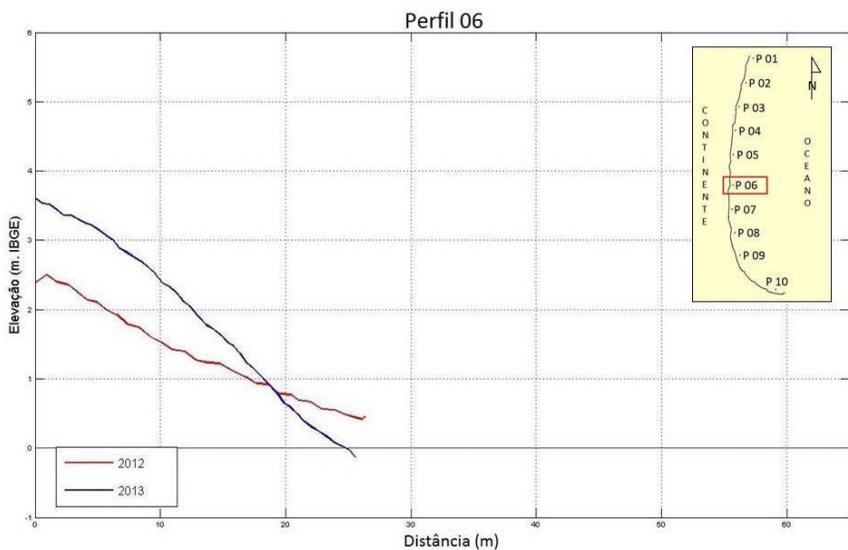
No Perfil 05 (Figura 58), verifica-se na primeira campanha um crista de berma com degrau bem definido. Posteriormente, ocorre uma migração do pacote sedimentar do pós praia inferior e face praiar para o pós praia superior, resultando em um perfil praiar mais retilíneo, com pouca alteração de volume. A altura máxima atingida pela pacote sedimentar foi de 4,90 m.

Nos Perfis 06 a 09, parte do pós praia superior é suprimida pela estrutura de enrocamento. Nestes perfis observa-se um incremento do volume sedimentar do pós praia entre as campanhas.

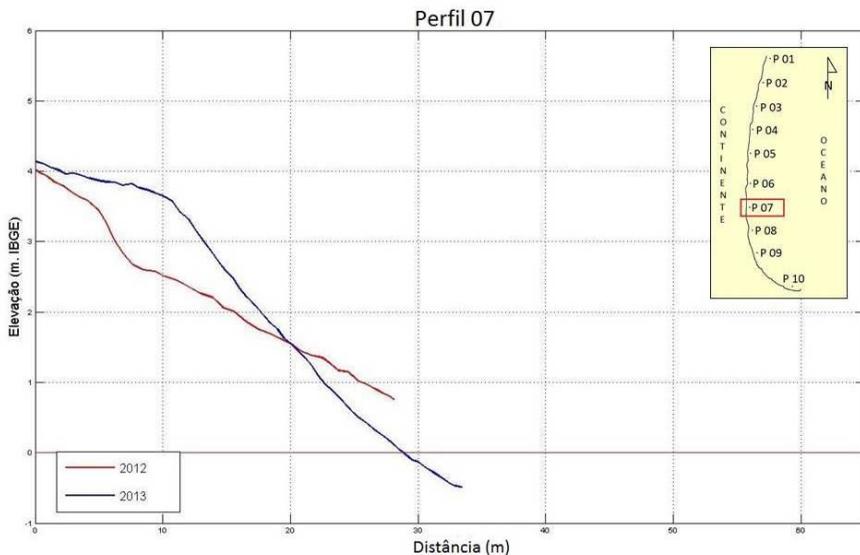
Os perfis 06 e 07 (Figura 59 e 60), localizados no setor central da praia, são formados por areia muito grossa e grossa e são expostos à alta energia de ondas. Verifica-se que os perfis tiveram um aumento de declividade e passaram da forma convexa para côncava entre as duas campanhas. Tal variação é decorrente do incremento do volume sedimentar na praia aérea. De acordo com Bascom (1951), uma praia que sofre erosão tenderá a ficar plana e convexa, enquanto uma praia que recebe um acréscimo de sedimento irá ficar mais íngreme e côncava.



**Figura 58** – Perfil praial 05 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013



**Figura 59** – Perfil praial 06 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013

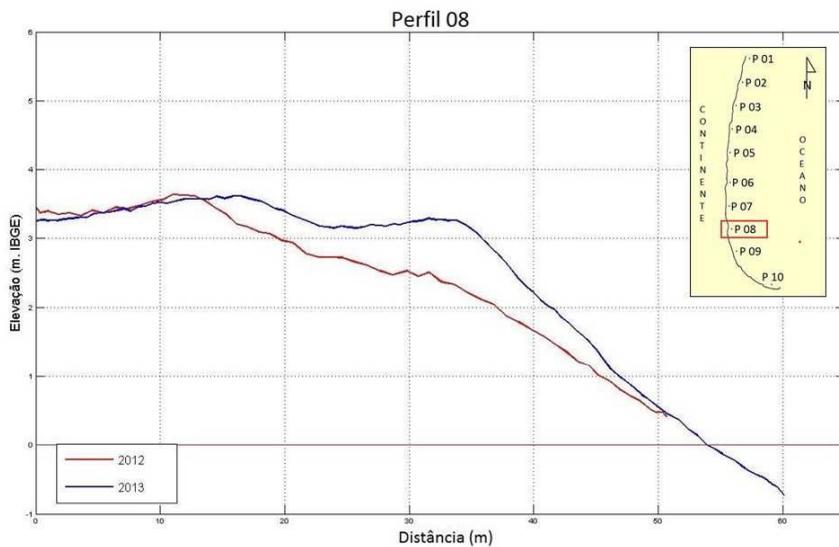


**Figura 60** – Perfil praiado 07 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013

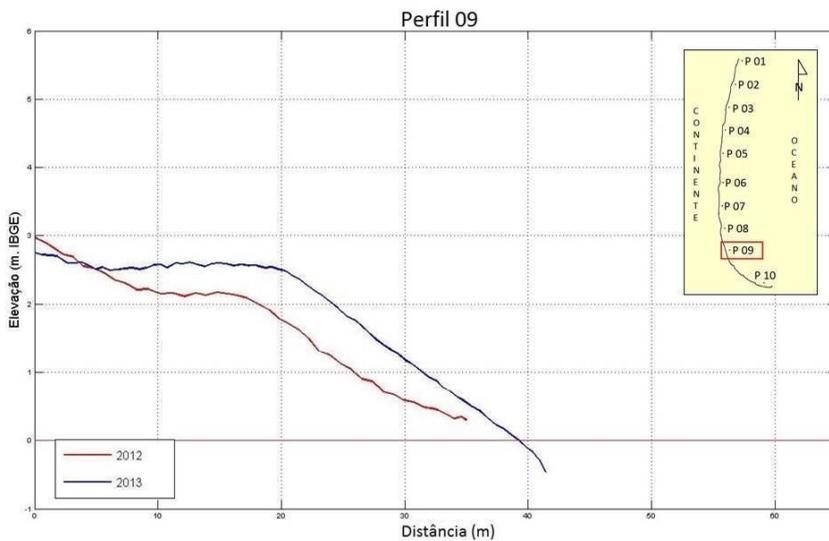
Rumo ao sul, sob ação do sombreamento da Ilha das Campanhas, os perfis apresentaram maior extensão e menor declividade do que os anteriores.

Os Perfis 08 e 09 (Figura 61 e 62) são semi-expostos, protegidos das ondas de S-SSE e expostos as de E-ENE. Com altura do pós praia entre 3,40 e 2,90 e extensão de 54 e 40 m, apresentaram uma variabilidade média e crista de berma instável.

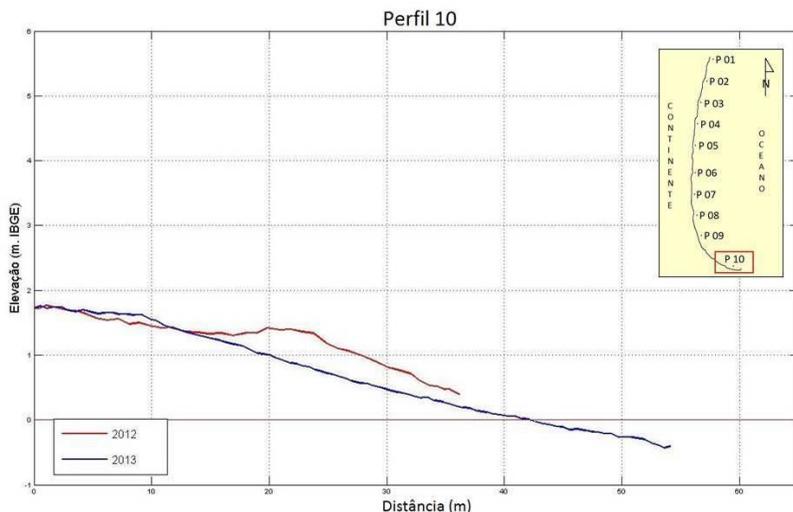
O perfil praiado 10 (Figura 63) apresenta uma praia em rampa plana relativamente estável. Esta morfologia é resultante da composição sedimentar de areia e muito fina e do setor ser abrigado da ação direta da alta energia das ondas, amplificada após a construção do molhe que uniu a planície costeira à Ilha das Campanhas. Os fenômenos de difração de ondas e sombreamento, somadas as características granulométricas, agem diretamente sobre a deposição e o transporte de sedimentos neste setor.



**Figura 61** – Perfil praias 08 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013



**Figura 62** – Perfil praias 09 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013



**Figura 63** – Perfil praiial 10 da Praia da Armação no ano de 2012 e 2013

Portanto, o que se verificou na análise dos perfis praiiais, é que sua forma e variabilidade estão condicionadas ao nível energético do ambiente e tipo a abundância de sedimentos que compõem o sistema praiial. As maiores variações de volume entre as duas campanhas foram observadas nos Perfis 1 e 2. Os Perfis 5, 6, 7, 8 e 9 apresentaram amplitudes intermediárias de variação no volume de sedimentos. E a menor variabilidade volumétrica foi encontrada nos Perfis 3, 4 e 10.

A alta variabilidade nos perfis do extremo norte da praia (Perfis 1 e 2) e baixa no extremo sul (Perfil 10) também foram encontrados por Abreu de Castilhos (1995). Segundo a autora, o recobrimento arenoso de uma área onde afloram blocos do embasamento e a posterior erosão desse depósito deixa no local pacotes suspensos de acumulação, indicativos de marcante sazonalidade no extremo norte da praia. E a baixa mobilidade volumétrica do Perfil 10 a autora delega à proteção induzida pela presença da Ilha das Campanhas no setor.

No sistema praiial como um todo, predominaram os processos de acreção sobre os de erosão entre as duas campanhas. Reafirmando assim a sazonalidade encontrada por Oliveira (2009) e Abreu de Castilhos (1995) para a enseada. Onde entre os meses de inverno e primavera (junho à novembro), com a intensificação dos sistemas frontais, ocorrem processos erosivos mais intensos. E durante os meses de verão e outono (dezembro à maio) a praia tende a maior acumulação.



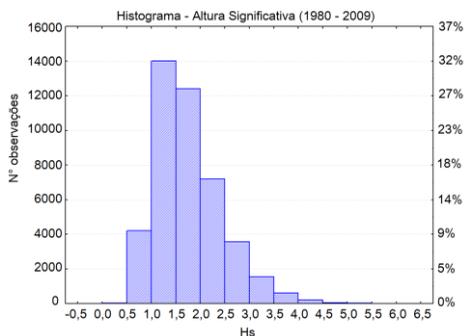
## 5.6 Análise estatística do clima de ondas

Os dados de ondas utilizados nesta análise correspondem a uma série temporal de parâmetros que cobre o período entre janeiro de 1980 e dezembro de 2009. Estes foram obtidos através do modelo Wave Watch III, extraídos do ponto com coordenadas: 27 S e 47,5 W. As informações da série temporal de dados são altura significativa de ondas (Hs), período de pico (Tp) e direção de pico (Dp), com uma resolução temporal de seis horas.

Para todo o período analisado (1980 à 2009) o clima de ondas na região de estudo apresentou uma Hs mediana de 1,63 (Tabela 27), tendo 60% das ocorrências com valores entre 1,0 e 2,0 metros (Figura 64).

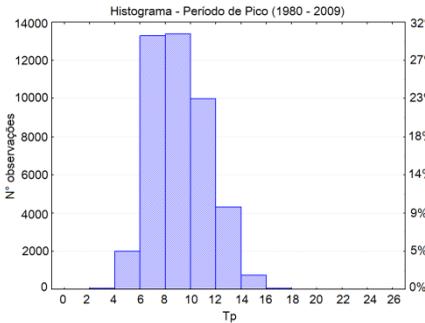
**Tabela 27** – Dados estatísticos descritivos dos parâmetros de Altura significativa (Hs) e Período de Pico (Tp) e Direção de Pico (Dp) para o período de 1980 à 2009.

Parâmetro	Média	Mediana	Quartil-Inferior	Quartil-Superior	Desvio Padrão
Hs	1,76	1,63	1,26	2,13	0,68
Tp	9,16	8,91	7,54	10,77	2,18

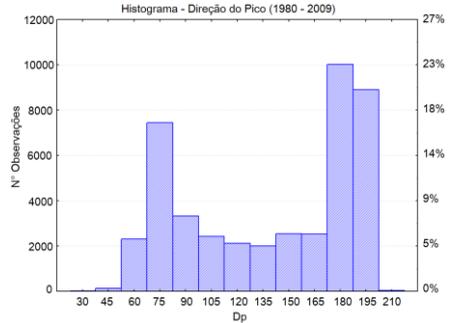


**Figura 64** – Histograma de altura significativa (Hs), em número de ocorrência e porcentagem.

A maior parte dos estados de mar possui período entre 6 e 10 segundos (Figura 65), resultando em uma mediana de 8,9 segundos, sendo o quartil superior já alcançado em 10,8 segundos. Quanto a direção, o grupo de ondas com maior frequência de ocorrência é composto por ondas provenientes do sul (180° e 195°) (Figura 66).

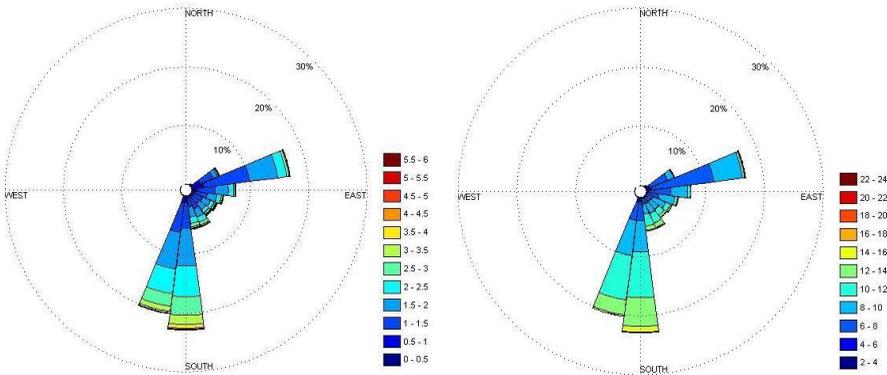


**Figura 65** – Histograma de Período de Pico (Tp) em número de ocorrência e porcentagem



**Figura 66** – Histograma de Direção do Pico (Dp) em número de ocorrência e porcentagem

O diagrama direcional de ondas (Figura 67) nos mostra que o estado de mar de Sul, além de ser o mais frequente, é o responsável pelos maiores valores de Hs e Tp. Com ondas ultrapassando 3 metros de altura significativa e 14 segundos de período de pico.



**Figura 67** – Diagrama direcional de ondas para 30 anos de dados em águas profundas obtidos pelo modelo WW3. A escala de cores corresponde a altura significativa e período de pico respectivamente

As ondas de E-NE também apresentam elevada representatividade, seguidas das ondas de E e NE. Porém suas intensidades são bem menores, com Hs entre 1 e 2 metros e períodos de pico entre 6 e 10 segundos, na maior parte das ocorrências.

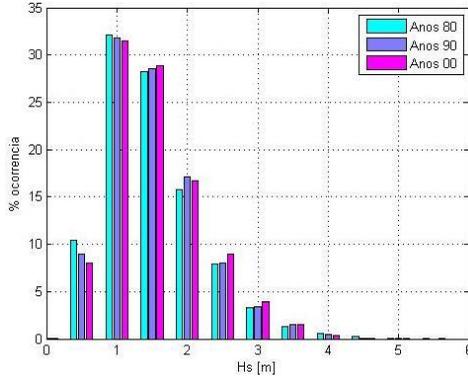
Direções mais frequentes são associadas a eventos meteorológicos típicos da região. Casos do quadrante S-SW associam-se a passagem do anticiclone móvel polar, proveniente de altas latitudes (Truccolo, 1998). Já a frequência de eventos de NE é caracterizado pela presença do sistema semi-fixo de alta pressão, o anticiclone do Atlântico Sul. Casos de leste estão associados às lestadadas, ventos fortes do quadrante E gerados pelo posicionamento típico de frentes frias durante sua passagem pelo litoral catarinense.

Realizando uma análise por década, observa-se o mesmo padrão de distribuição dos parâmetros Hs, Tp e Dp, porém com pequenas alterações de ocorrência e intensidade. Verifica-se um pequeno aumento da média, mediana e quartis inferior e superior da altura significativa (Hs) ao decorrer das três décadas. E uma diminuição na média do período de pico (Tp) e direção de pico (Dp) (Tabela 28).

**Tabela 28** - Dados estatísticos descritivos dos parâmetros de Altura significativa (Hs) e Período de Pico (Tp) analisados para cada década em separado: 1980, 1990 e 2000.

Déc.	Parâm.	Média	Mediana	Quartil Inferior	Quartil Superior	Desvio Padrão	Curtose
1980	Hs	1,74	1,61	1,24	2,10	0,69	1,77
	Tp	9,41	9,14	7,62	11,07	2,29	-0,35
1990	Hs	1,76	1,64	1,27	2,13	0,67	1,00
	Tp	9,15	8,87	7,56	10,72	2,19	0,22
2000	Hs	1,78	1,65	1,28	2,16	0,67	1,05
	Tp	8,94	8,66	7,44	10,32	2,03	-0,23

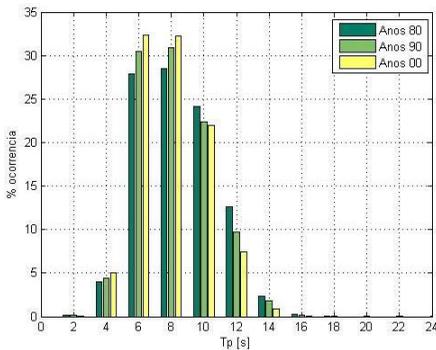
No histograma decadal de Hs (Figura 68) verifica-se uma diminuição de ocorrência ao longo do tempo das ondas entre 0,5 e 1,0 metros, e um aumento das ocorrências das ondas de 1,5 a 4,0 metros. O que explica o aumento da média de Hs entre as décadas.



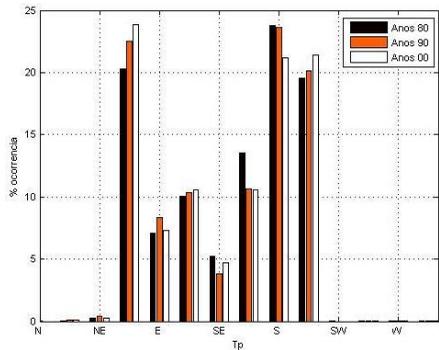
**Figura 68** – Histograma Hs comparativo das três décadas

No histograma decadal de Tp (Figura 69), observa-se um aumento nas ocorrências das ondas com período de pico entre 4 e 8 segundos, e uma diminuição entre 10 e 16 segundos. No diagrama direcional de ondas (Figura 60) observa-se claramente a diminuição do período de pico das ondas de Sul ao decorrer das décadas, com as ondas de elevado período (a cima de 14 segundos) diminuindo em número de ocorrências.

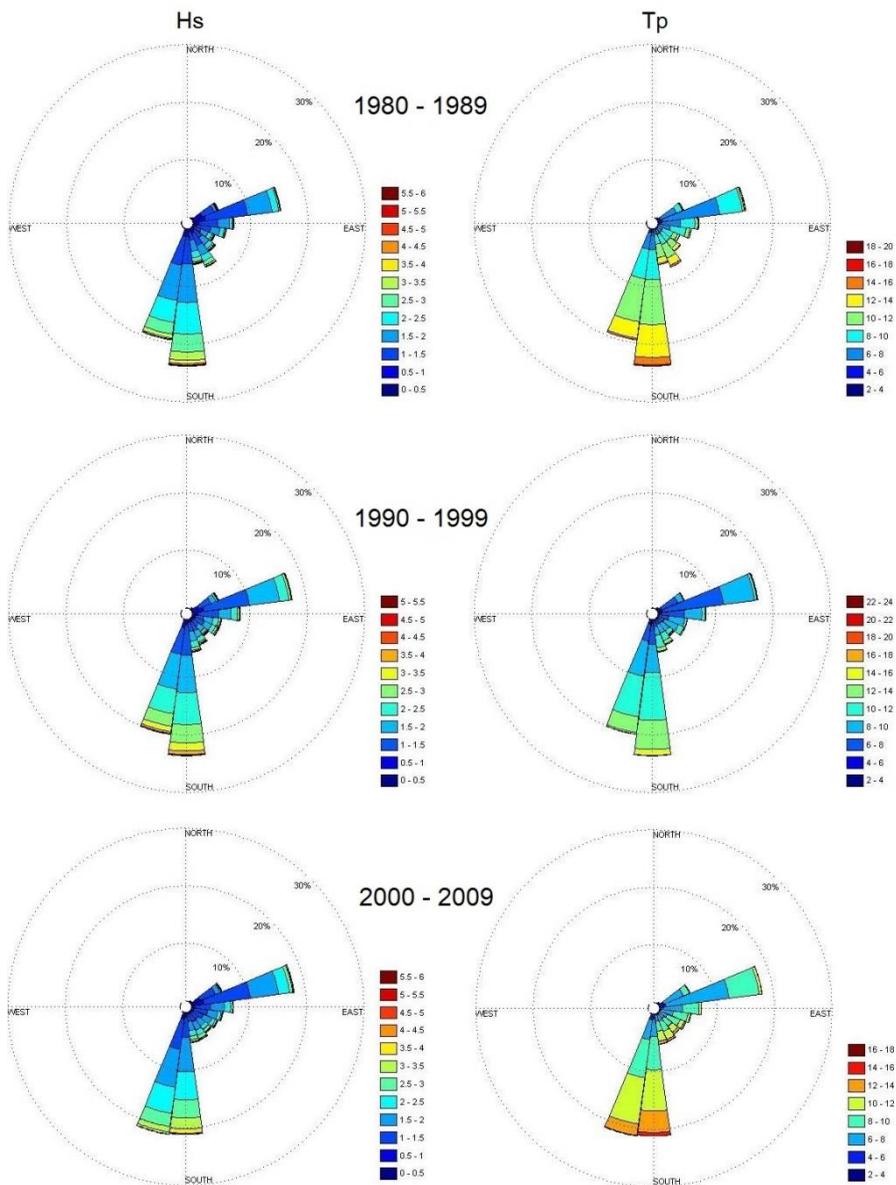
Isso ocorre também, pela própria diminuição da ocorrência dos mares de Sul e Sudeste (Figura 70 e 71), e aumento das ondas provenientes de Leste e Nordeste (60° a 90°). Destacando apenas a queda de ocorrências das ondas de Leste e aumento das ondas de Sudeste na década 2000. O que não descaracteriza o comportamento ascendente dos mares de E e descendente dos mares de SE.



**Figura 69** – Histograma Tp comparativo das três décadas



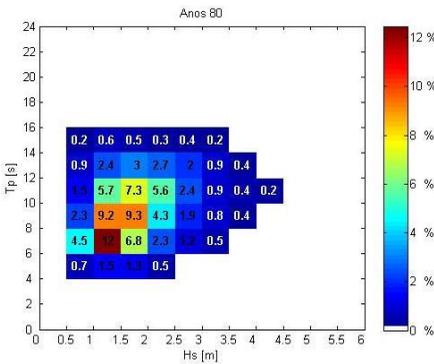
**Figura 70** – Histograma Dp comparativo das três décadas



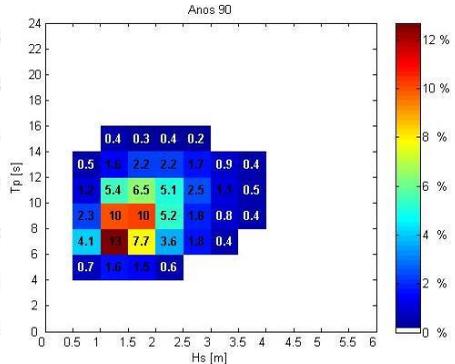
**Figura 71** – Diagrama direcional de ondas para cada década dos 30 anos de dados obtidos pelo modelo WW3. Valores de Hs (à esquerda) e Tp (à direita).

Esse aumento da frequência dos mares NE e E e diminuição dos mares de S e SE concordam com o comportamento dos valores de período de pico ao longo das 3 décadas, indicando uma diminuição na frequência das ondulações (*swell*) e aumento dos mares locais/vagas (*sea*).

Porém, mesmo com a diminuição das ondas de maior período e de mares de S e SE, que por característica possuem maior altura de ondas que os mares locais, a altura significativa continuou aumentando entre 1980 e 2009. O que nos indica um possível incremento de energia nas ondas locais de NE e E, principalmente na década de 90. Esse comportamento pode ser observado nos gráficos bivariados de Hs e Tp (Figura 72 e 73). Onde a ocorrência de ondas com Hs a cima de 1,5 metros e com período entre 4 e 10 segundos, aumentou de uma década para a outra.



**Figura 72** – Gráfico bivariado de Hs e Tp para a década de 80



**Figura 73** – Gráfico bivariado de Hs e Tp para a década de 90

## **5.7 Modelagem numérica de ondas e transporte de sedimentos**

Para realização desta análise, dados de altura de onda foram extraídos a partir da isóbata de 5 metros, cobrindo toda a extensão da enseada. Serão apresentados os resultados para os 12 casos de ondas modelados, agrupados por setores direcionais. Os campos de ondas dos referidos casos podem ser encontrados no Anexo C.

A partir dos casos de onda selecionados para propagação foi realizada uma análise qualitativa da distribuição do campo de correntes.

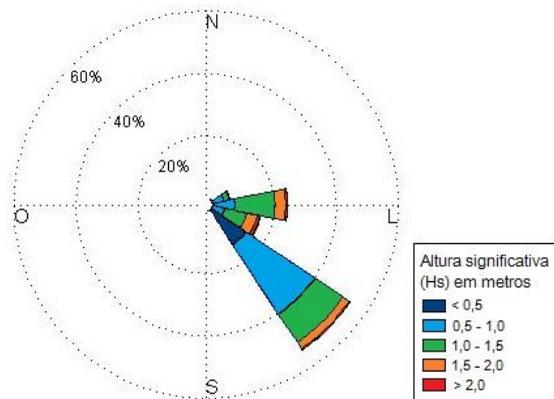
A fim de observar melhor as diferenças encontradas nos campos de correntes entre os dois cenários, serão mostradas imagens abrangendo apenas o setor central e sul, já que não foram encontradas diferenças no padrão de correntes entre os cenários no setor norte. As escalas também serão ajustadas para cada caso a fim de facilitar as comparações. No anexo D são encontrados os campos de correntes para todos os casos de ondas no cenário B.

Foi calculado o transporte de sedimentos ao longo da praia da Armação para todos os casos de onda propagados e para os dois cenários propostos. Aqui serão apresentados o resultado para o caso de onda mais frequente e o mais intenso de cada setor direcional. O objetivo é observar o padrão e a magnitude de transporte para cada caso simulado, de forma a analisar a importância de casos de diferentes quadrantes na representatividade deste processo na praia da Armação.

Para realizar o cálculo de transporte de sedimentos usou-se um período de 24 horas de propagação de cada caso de onda, e como área de cálculo a região entre a linha de costa até a profundidade de 10 metros. Serão apresentadas as curvas de transporte total ao longo da costa já derivada na direção a fim de observar os gradientes de transporte. Onde valores positivos indicam transporte de sedimentos do norte para o sul, e valores negativos transporte de sul para norte. Os resultados serão apresentados já evidenciando as diferenças encontradas entre os cenários A (praia da Armação atual – com molhe) e B (praia da Armação hipotética – sem molhe).

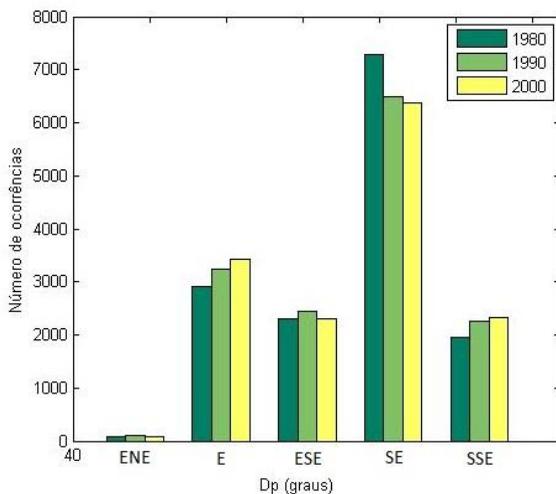
### **5.7.1 Análise preliminar dos dados de ondas em águas rasas**

Para todo o período analisado (1980 à 2009), avaliando os dados do ponto externo, o clima de ondas na região de estudo apresentou uma altura significativa ( $H_s$ ) mediana de 0,94 m, tendo 78% das ocorrências com valores entre 0,5 e 1,5 m (Figura 74). Já o período de pico ( $T_p$ ) tem como predominante (85%) os valores entre 6 e 12s, e uma mediana de 8,86 s. As direções de pico mais atuantes são as provenientes de sudeste e leste.

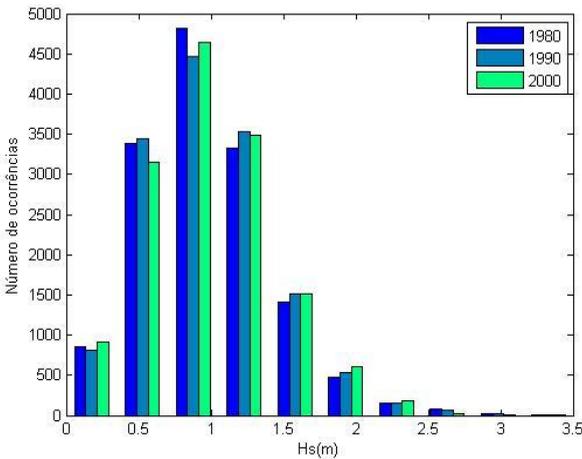


**Figura 74** – Rosa de ondas para o período de 1980 à 2009, propagados de águas profundas e extraídos no “ponto externo”, localizado em frente a praia da Armação a 14,5 metros de profundidade.

Ao analisar os valores de direção de pico (Figura 75) e altura significativa (Figura 76) em águas rasas, comparativamente com os dados de águas profundas, observa-se uma redução dos setores direcionais que atuam na área de estudo, assim como uma redução de 0,5 a 1,0 metros na altura de ondas.



**Figura 75** - Histograma de direção de pico (Dp), em graus, ao longo das três décadas



**Figura 76** - Histograma de altura significativa (Hs), em metro, ao longo das três décadas

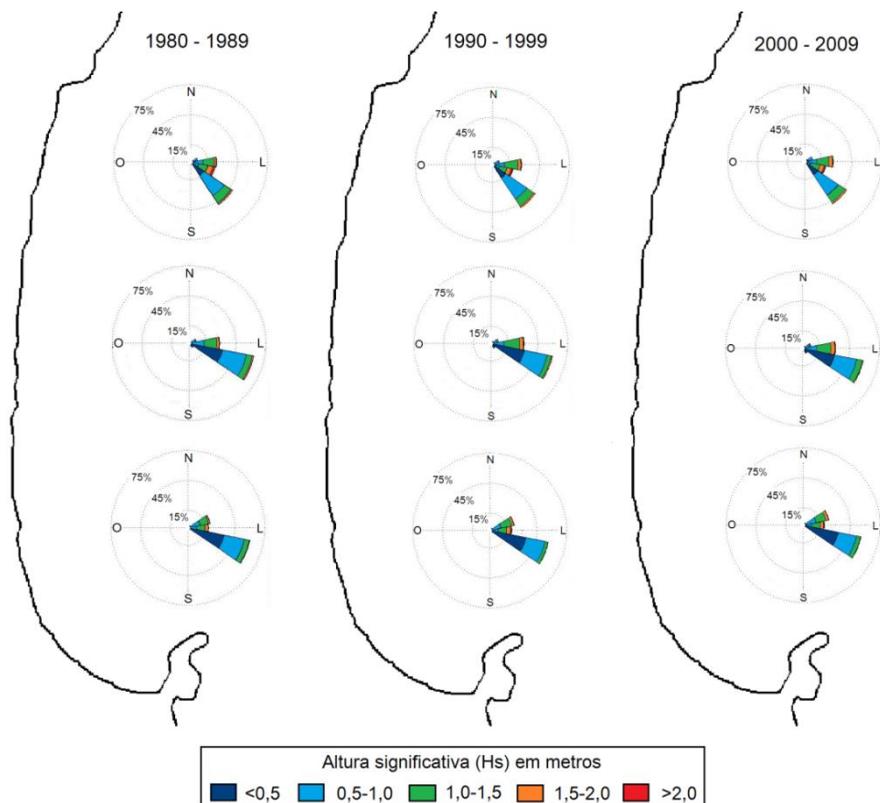
Ao longo da praia da Armação, os sistemas de ondas que se aproximam sofrem influências da morfologia local e atuam de forma distinta em toda enseada. Para entender melhor este processo, os sistemas de ondas foram analisados separadamente para o setor norte, central e sul (dados extraídos dos pontos norte, central e sul) e em intervalos de 10 anos (Figura 77).

*Setor norte:* os principais sistemas de ondas atuantes são provenientes de E, ESE e SE. Sendo as ondas de ESE as mais intensas, e as SE as mais frequentes. As vagas de NE chegam em pequeno número pois são difratadas no norte da Ilha de Santa Catarina pela ponta da Galheta e mais ao sul pela Ilha do Campeche. Ao longo das décadas as ondas de E aumentam em ocorrência e intensidade. As ondas de SE pouco variaram em intensidade e frequência ao longo das décadas, porém este sistema corresponde a 48% das ondas atuantes no setor;

*Setor central:* neste de setor os sistemas de E e ESE são os mais atuantes. As ondas de SE chegam de forma pouco expressiva, pois a ponta do Facão (morro do Matadeiro) e Ilha das Campanhas interceptam essas ondulações. E as ondas de ESE, que no setor norte era as mais energéticas, neste setor atua de forma bem mais branda. As vagas de NE sofrem a mesma influência citada a cima. Entre os períodos observa-se um aumento de ocorrência das ondas de E, com uma diminuição da frequência e intensidade

das ondas de ESE. As ondas de ENE aumentaram progressivamente seu número de ocorrências e tiveram seu pico energético na década de 90;

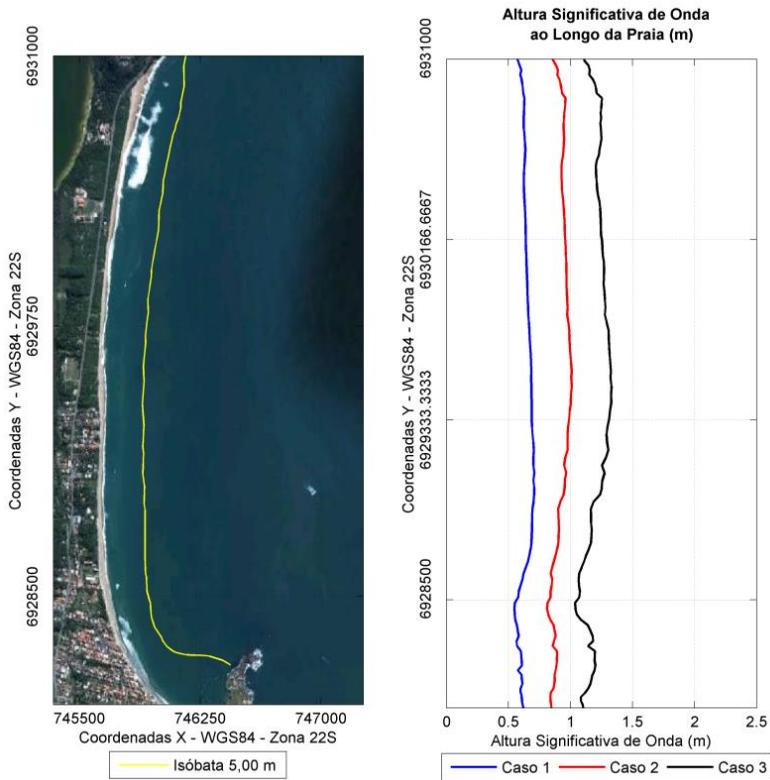
*Setor sul:* é onde as ondas de NE conseguem atuar de forma mais expressiva. Além deste sistema, atuam também neste setor das ondas de E e ESE. As vagas de SE recebem a mesma influência do setor central e não atuam neste setor. O padrão energético e de frequência das ondas segue os apresentados nos setores anteriores, com as ondas de NE e E aumentam de intensidade e ocorrência ao longo das décadas, enquanto as ondas de ESE perdem intensidade e frequência.



**Figura 77** – Rosa de ondas, com dados analisados por década para cada setor analisado (norte, central e sul).

### 5.7.2 Sistemas de ondas de Nordeste (Casos 1, 2 e 3)

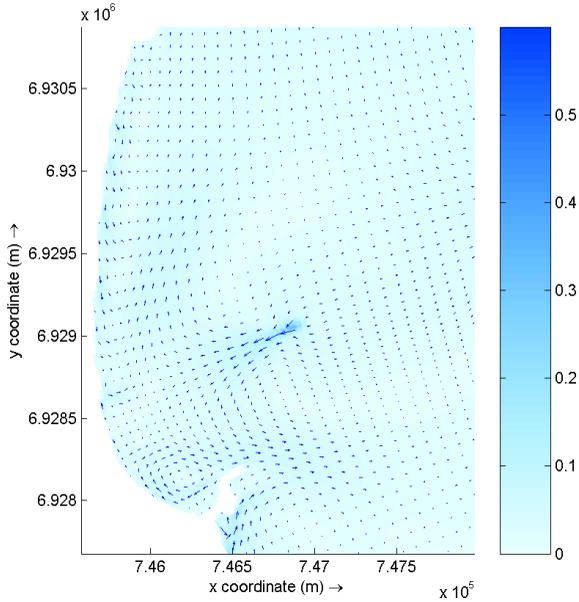
Para as ondas do quadrante nordeste (caso 1, 2 e 3) verifica-se uma redução significativa da altura de ondas em águas profunda (Figura 78). As ondas provenientes de nordeste são inicialmente difratadas no norte da ilha de Santa Catarina, pelo morro dos ingleses, e mais próximo a área de estudo pela ilha do Campeche. Ao longo da praia verifica-se uma linearidade da altura de onda, com uma pequena redução energética no centro-sul da praia, causada pelo parcel localizado na região. As ondas provenientes de nordeste conseguem atingir o setor sul da praia com a mesma energia observada nos outros setores.



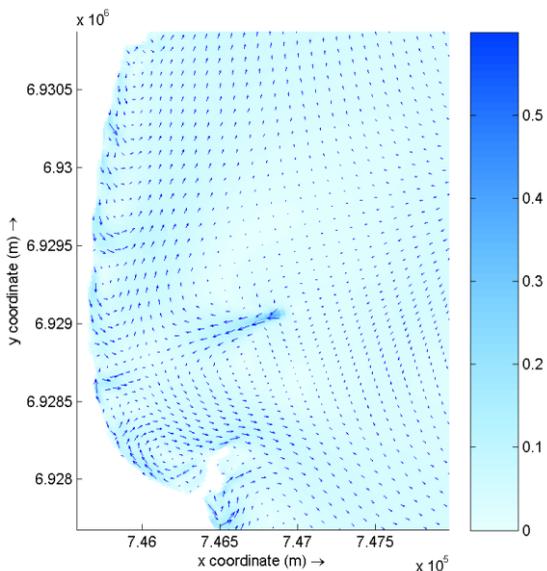
**Figura 78** – Variação da altura significativa de onda ao longo do perfil longitudinal da isóbata de 5 metros. Caso 1:  $H_s=1,03\text{m}$ ,  $T_p=6,88\text{s}$ ,  $Dir=47,82^\circ$ ;

Caso 2:  $H_s=1,44\text{m}$ ,  $T_p=7,47\text{s}$ ,  $Dir=54,33^\circ$ ; Caso 3:  $H_s=1,86\text{m}$ ,  $T_p=8,21\text{s}$ ,  $Dir=55,20^\circ$ .

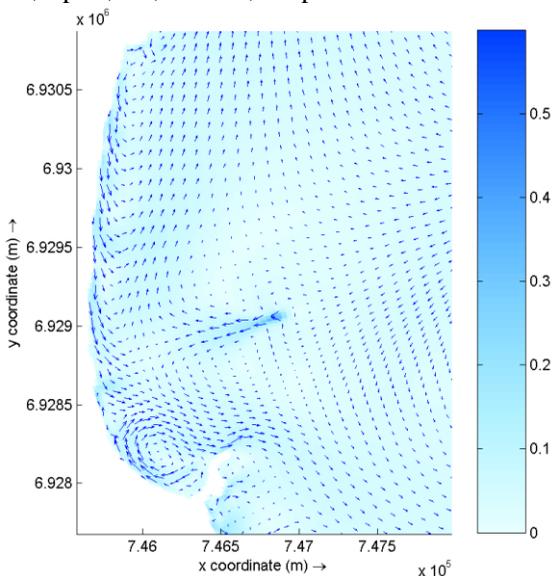
As ondas de nordeste (caso 1, 2 e 3) geraram uma corrente principal paralela a linha de costa com sentido norte-sul até o ponto de interferência do parcel, ao sul da praia. Essa corrente ao encontrar a ilha das Campanhas retorna criando um vórtice no sul da praia que alimenta uma corrente de retorno (Figura 79 a Figura 81).



**Figura 79** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 1 de ondas:  $H_s=1,03\text{m}$ ,  $T_p=6,88\text{s}$ ,  $Dir=47,82^\circ$  para o cenário A.

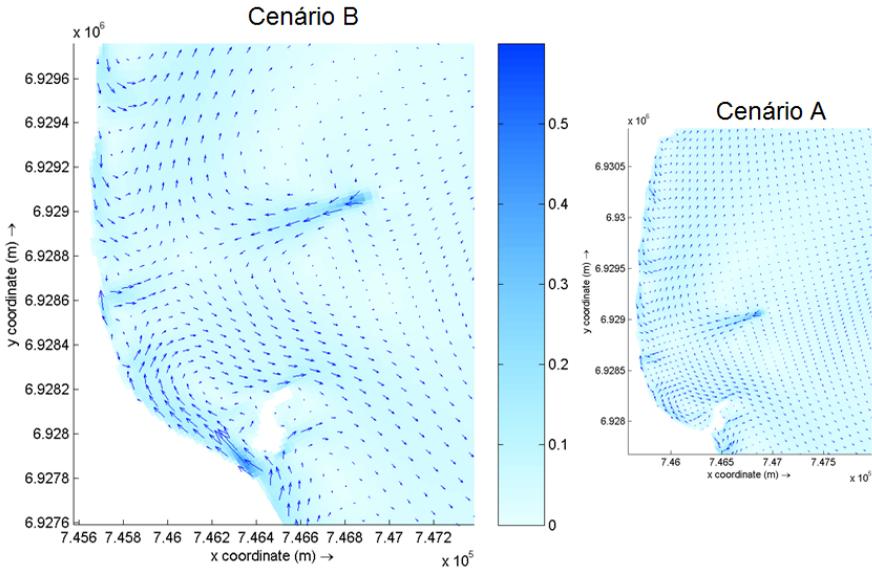


**Figura 80** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 2 de ondas:  $H_s=1,44\text{m}$ ,  $T_p=7,47\text{s}$ ,  $\text{Dir}=54,33^\circ$  para o cenário A.



**Figura 81** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 3 de ondas:  $H_s=1,86\text{m}$ ,  $T_p=8,21\text{s}$ ,  $\text{Dir}=55,20^\circ$  para o cenário A.

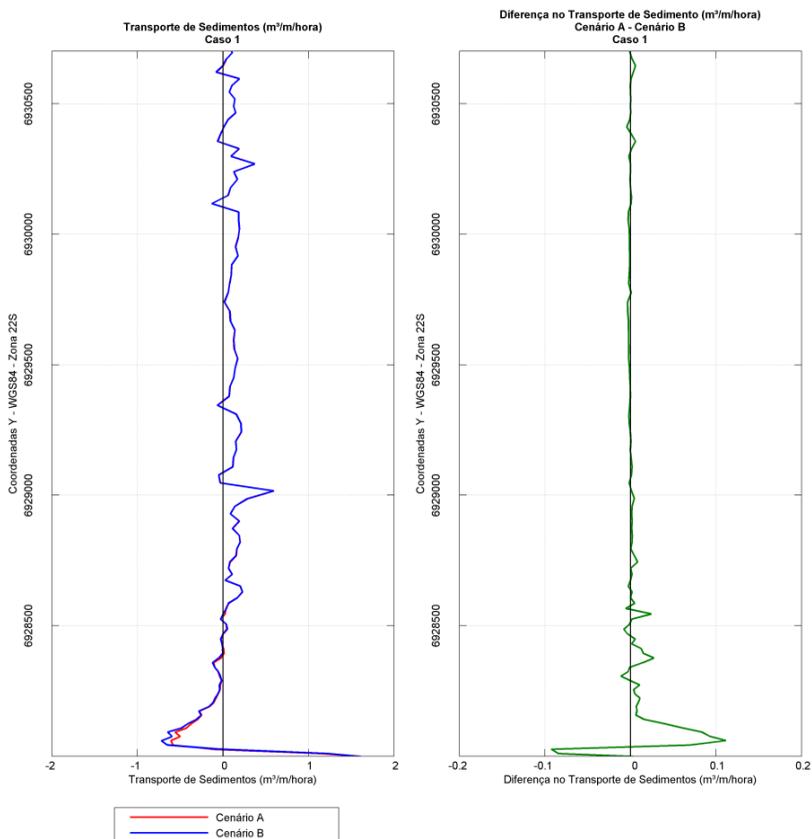
Comparando o Cenário A e B (Figura 82), verifica-se que no Cenário B, na ausência do molhe, é gerada uma corrente de sul vinda desde a praia do Matadeiro, que intensifica a célula de circulação costeira já existente neste setor.



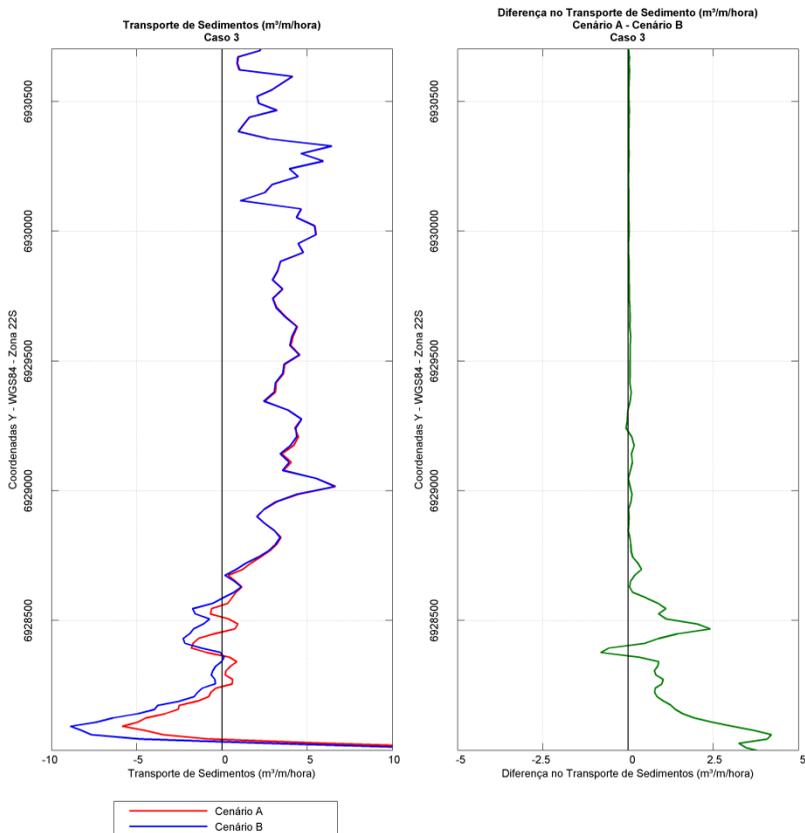
**Figura 82** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 2 de ondas:  $H_s=1,44\text{m}$ ,  $T_p=7,47\text{s}$ ,  $Dir=54,33^\circ$  para o cenário B, e no detalhe do cenário A.

O padrão de transporte sedimentar sob influência das ondas de nordeste (caso 1 – Figura 83 e caso 3 – Figura 84) ocorre predominantemente de norte para sul. Com exceção do extremo setor sul que transporta os sedimentos no sentido sul-norte por conta das correntes que retornam para o norte ao encontrar a ilha. Quanto a magnitude do transporte, para o caso 1 onde a altura de onda na praia é em média 0,6 metros, ela oscilou entre 0,1 e 0,8  $\text{m}^3/\text{m}/\text{hora}$ , apresentado maiores intensidades no setor sul. Já para o caso 3, com altura de onda média de 1,2 metros, o transporte chegou a 5  $\text{m}^3/\text{m}/\text{hora}$ , com valores ainda superiores no setor sul.

Comparando os cenários A e B, dos casos 1 e 3, o que se observa é que no cenário B, com a ausência do molhe, as correntes provenientes da praia do Matadeiro intensificam ainda mais esse vórtice, ampliando a taxa de transporte sedimentar no sentido sul-norte no setor central e sul.



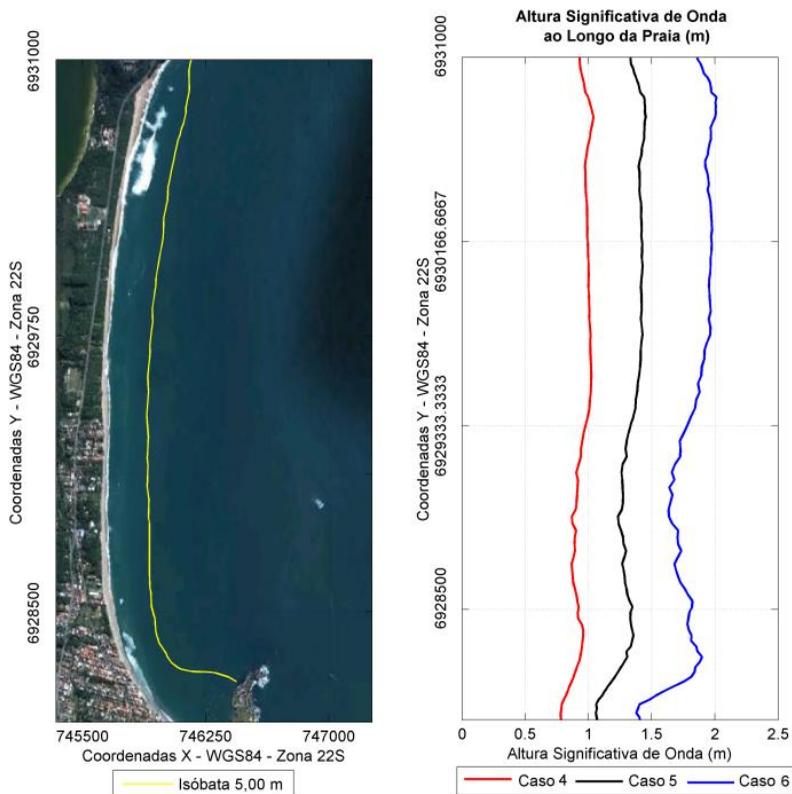
**Figura 83** – Gradiente do transporte de sedimentos ( $m^3/m/hora$ ) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do caso 1:  $H_s=1,03m$ ,  $T_p=6,88s$ ,  $Dir=47,82^\circ$ ;



**Figura 84** – Gradiente do transporte de sedimentos ( $\text{m}^3/\text{m}/\text{hora}$ ) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do caso 3:  $H_s=1,86\text{m}$ ,  $T_p=8,21\text{s}$ ,  $\text{Dir}=55,20^\circ$ ;

### 5.7.3 Sistemas de ondas de Leste (Casos 4, 5 e 6)

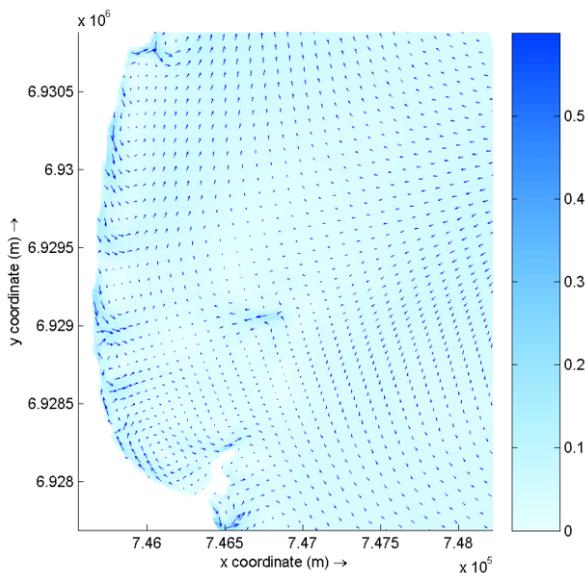
Para ondas do quadrante leste (casos 4, 5 e 6) as características de altura de onda e direção das ondas que chegam na enseada são bem próximas as de água profunda (Figura 85). Isso indica que as ondas provenientes deste quadrante se aproximam da área de estudo praticamente sem interferência de obstáculos, sofrendo apenas os processos naturais de entrada do sistema de ondas em águas rasas. Ao longo da praia a altura de onda é suavizada no setor centro-sul pela presença de um parcel existente no local, e no extremo sul da praia devido a proteção pela ilha das Campanhas.



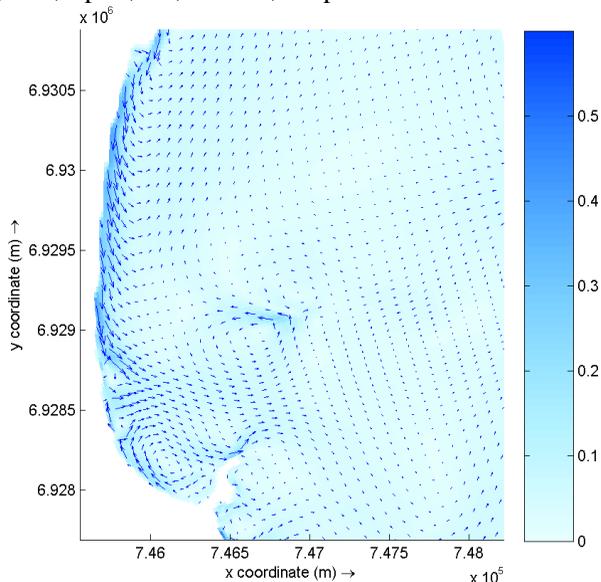
**Figura 85** – Variação da altura significativa de onda ao longo do perfil longitudinal da isóbata de 5 metros. Caso 4:  $H_s=1,16\text{m}$ ,  $T_p=7,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=79,99^\circ$ ; Caso 5:  $H_s=1,72\text{m}$ ,  $T_p=7,95\text{s}$ ,  $\text{Dir}=83,15^\circ$ ; Caso 6:  $H_s=2,48\text{m}$ ,  $T_p=8,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=85,21^\circ$ .

As ondas do quadrante leste (caso 4, 5 e 6) geraram um padrão de correntes semelhante as ondas de nordeste. Com uma corrente principal ao longo de toda a praia com sentido norte-sul e um vórtice no sul da praia gerando uma corrente contrária. É possível observar também a presença de correntes de retorno no setor central quando a praia está sob regime de ondas menos intensas (Figura 86 a Figura 88).

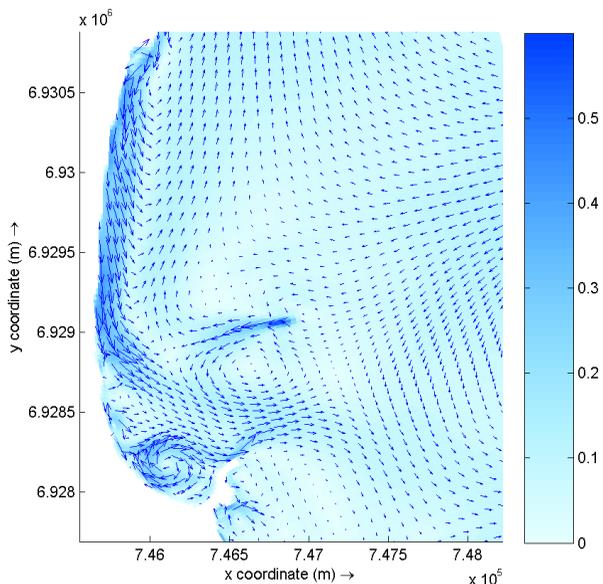
Comparação cenário A e B (Figura 89) verifica-se o mesmo comportamento onde as correntes de sul intensificam-se.



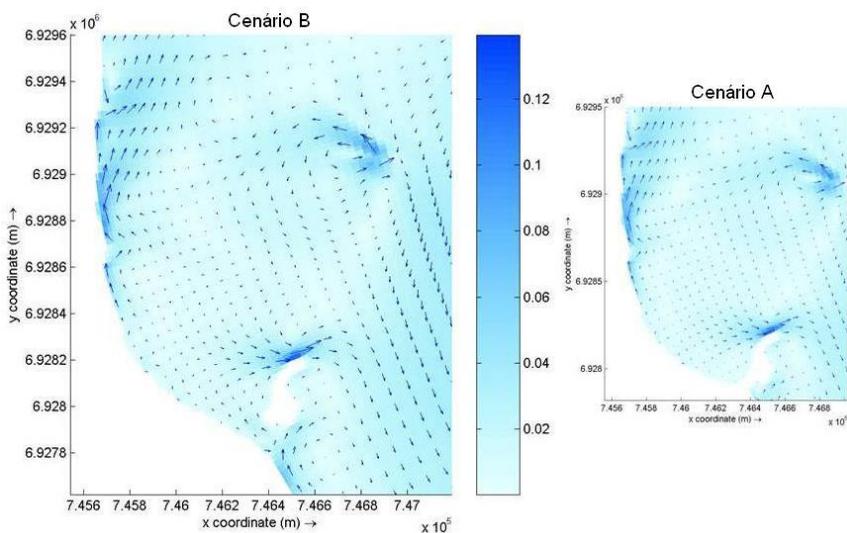
**Figura 86** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 4 de ondas:  $H_s=1,16\text{m}$ ,  $T_p=7,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=79,99^\circ$  para o cenário A.



**Figura 87** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 5 de ondas:  $H_s=1,72\text{m}$ ,  $T_p=7,95\text{s}$ ,  $\text{Dir}=83,15^\circ$  para o cenário A.



**Figura 88** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 6 de ondas:  $H_s=2,48\text{m}$ ,  $T_p=8,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=85,21^\circ$  para o cenário A.

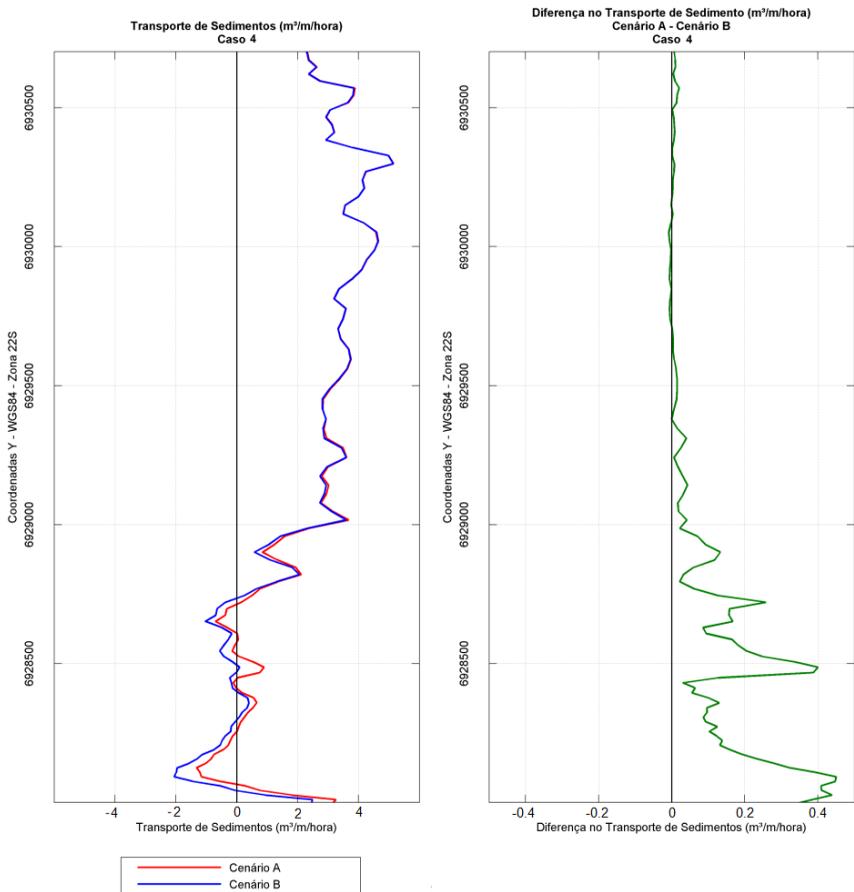


**Figura 89** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 5 de ondas:  $H_s=1,72\text{m}$ ,  $T_p=7,95\text{s}$ ,  $\text{Dir}=83,15^\circ$  para o cenário B, e no detalhe o cenário A.

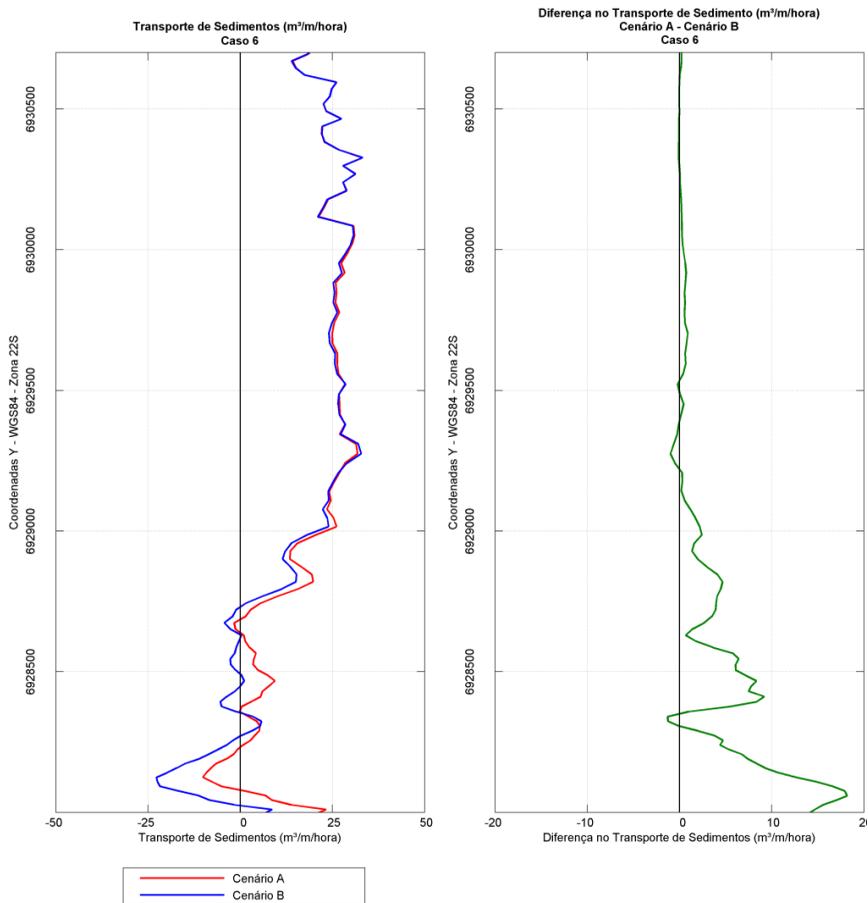
As ondas provenientes do quadrante leste (caso 4 – Figura 90 e caso 6 – Figura 91), como já se previa pelos resultados demonstrados nas análises anteriores de ondas e correntes, foram as mais efetivas no transporte sedimentar, principalmente no setor sul. O caso 4, com ondas chegando na costa com alturas em torno de 1 metro são capazes de remobilizar em média  $3,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$ , com direção predominantes de norte para sul no setor norte e central. Já no setor sul, esse mesmo sistema de onda transporta um volume menor de sedimentos (variando de 0 a  $2 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$ ) com o sentido inverso, de sul pra norte. Este processo ocorre pelo fato da intensidade das correntes geradas serem tão fortes que geram um vórtice no setor sul da praia jogando o sedimento deste setor para fora da enseada.

O transporte sedimentar gerado pelas ondas do caso 6 segue o mesmo padrão do caso anterior, porém com maior intensidade. Com altura de onda na costa superior a 1,5 metros, as correntes transportam até  $25 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$  de sedimentos no sentido norte-sul dos setores norte e central.

Comparando os cenários A e B, dos casos 4 e 6, verifica-se padrão semelhante as ondas de nordeste, no cenário B, com a abertura do molhe, as correntes e conseqüentemente o transporte de sul pra norte são intensificadas no setor central e sul.



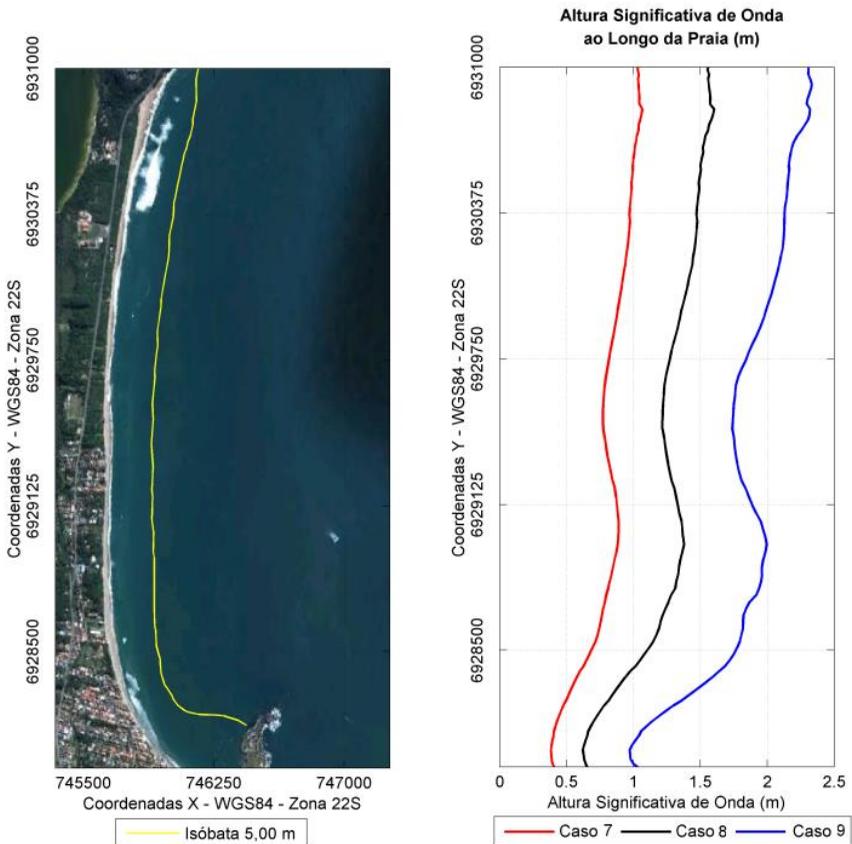
**Figura 90** – Gradiente do transporte de sedimentos ( $\text{m}^3/\text{m}/\text{hora}$ ) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do caso 4:  $H_s=1,16\text{m}$ ,  $T_p=7,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=79,99^\circ$ ;



**Figura 91** – Gradiente do transporte de sedimentos ( $m^3/m/hora$ ) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do caso 6:  $H_s=2,48m$ ,  $T_p=8,55s$ ,  $Dir=85,21^\circ$ .

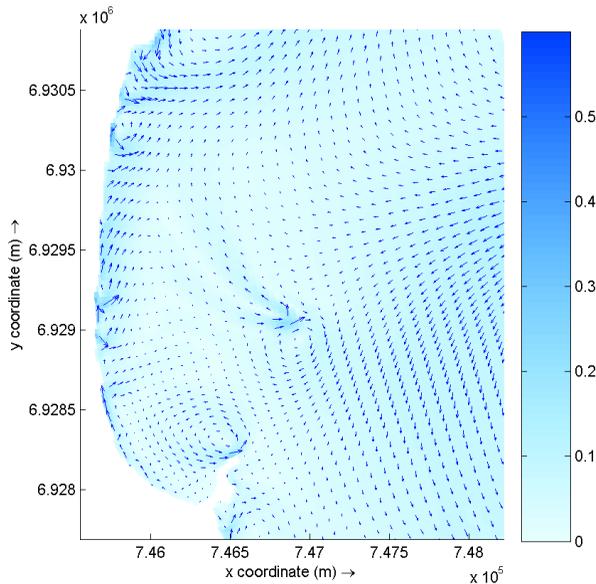
### 5.7.4 Sistemas de ondas de Sudeste (Casos 7, 8 e 9)

As ondas provenientes do quadrante sudeste (casos 7, 8 e 9) também conseguem chegar na enseada com uma elevada altura de onda, principalmente no setor norte (Figura 92). A altura de onda vai perdendo intensidade no sentido norte-sul, e após passar pela zona de atenuação gerada pelo parcel, ela volta a crescer no setor sul. E no extremo setor sul são encontrados os menores valores de altura de onda, decorrente da zona de sombra gerada pela ilha das Campanhas.

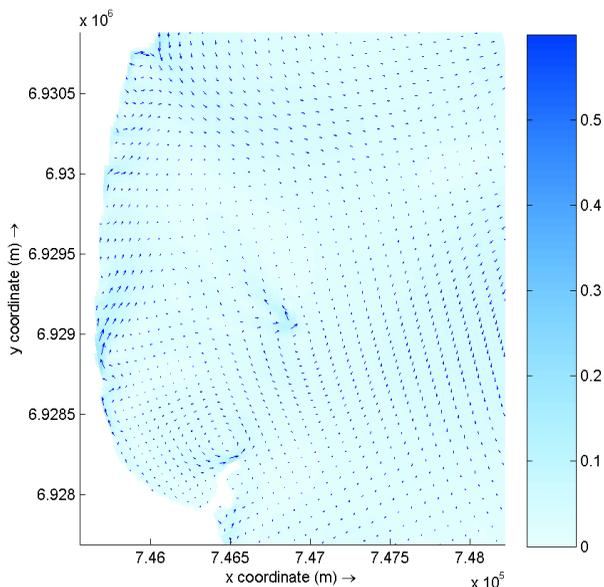


**Figura 92** – Variação da altura significativa de onda ao longo do perfil longitudinal da isóbata de 5 metros. Caso 7:  $H_s=1,36\text{m}$ ,  $T_p=9,31\text{s}$ ,  $\text{Dir}=143,5^\circ$ ; Caso 8:  $H_s=2,14\text{m}$ ,  $T_p=9,79\text{s}$ ,  $\text{Dir}=146,2^\circ$ ; Caso 9:  $H_s=3,15\text{m}$ ,  $T_p=10,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=147,9^\circ$ .

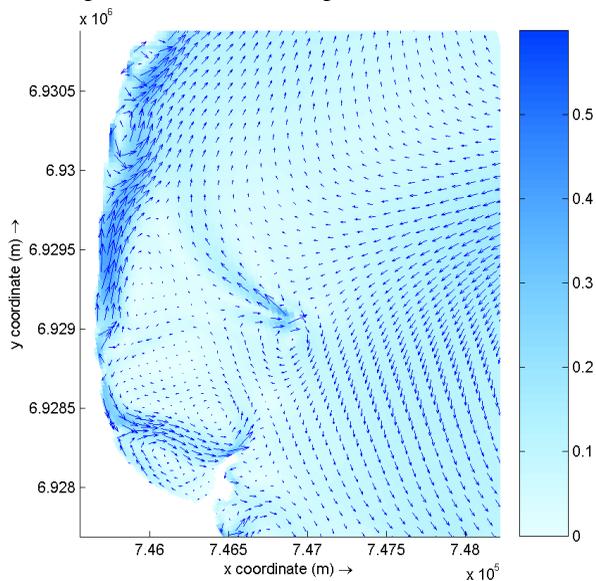
Com a atuação das ondas de sudeste (caso 7, 8 e 9) ocorre um predomínio das correntes no sentido sul-norte em toda a praia. Com o aumento da altura de onda, e consequente aumento da intensidade das correntes, é possível observar a interferência do parcel no padrão das correntes no setor centro-sul gerando correntes divergentes para o sul e norte. E parte da corrente com sentido sul ao encontrar a ilha das campanhas retorna, assim como as ondas de leste, gerando um vórtice (Figura 93 a Figura 95).



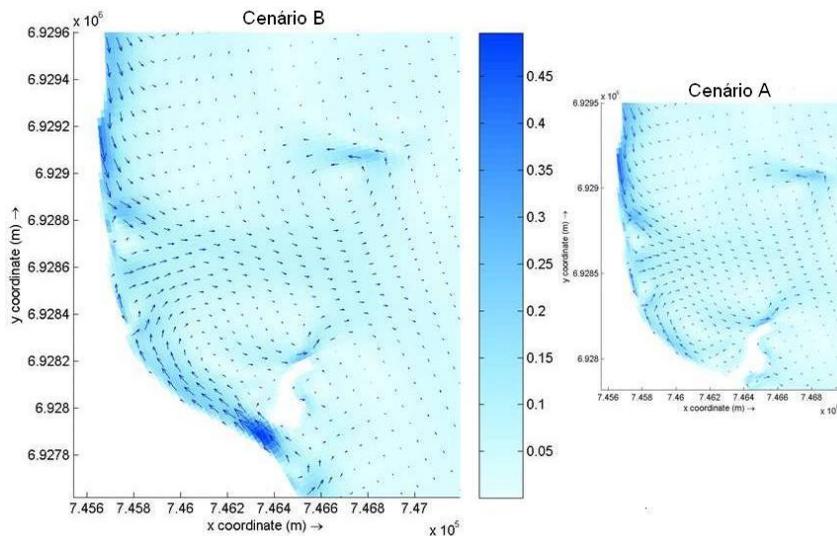
**Figura 93** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 7 de ondas:  $H_s=1,36\text{m}$ ,  $T_p=9,31\text{s}$ ,  $\text{Dir}=143,5^\circ$  para o cenário A.



**Figura 94** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 8 de ondas:  $H_s=2,14\text{m}$ ,  $T_p=9,79\text{s}$ ,  $\text{Dir}=146,2^\circ$  para o cenário A.



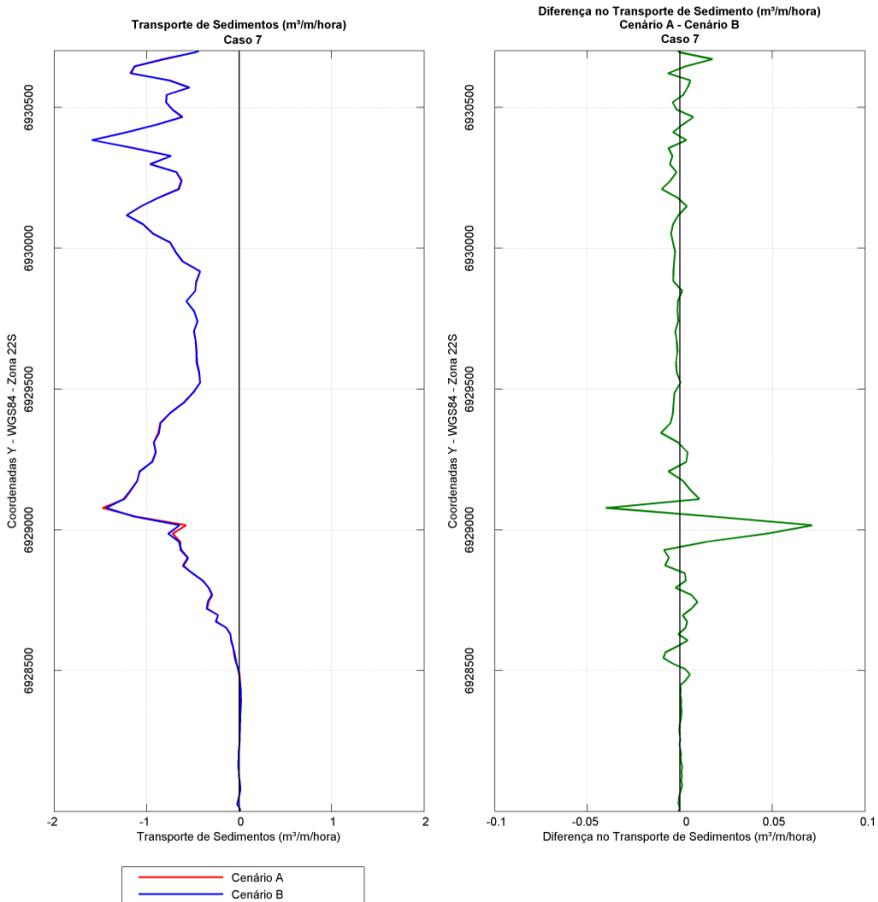
**Figura 95** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 9 de ondas:  $H_s=3,15\text{m}$ ,  $T_p=10,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=147,9^\circ$  para o cenário A.



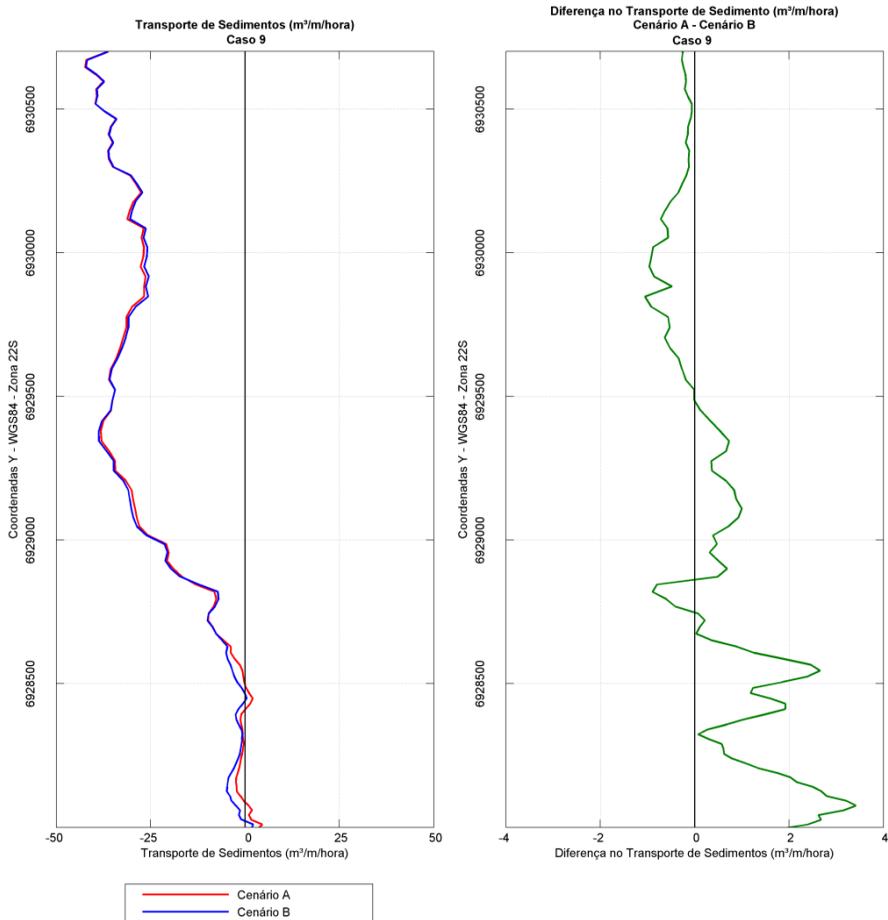
**Figura 96** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 8 de ondas:  $H_s=2,14\text{m}$ ,  $T_p=9,79\text{s}$ ,  $Dir=146,2^\circ$  para o cenário B, e no detalhe o cenário A.

As ondas de sudeste (caso 7 – Figura 97 e caso 9 – Figura 98), também se mostraram bem efetivas no transporte de sedimentos, porém com o setor sul ficando mais protegido. As ondas do caso 7, que chegam na costa com 0,8 metros em média, geram um transporte de sul pra norte no setor central e norte com intensidade de até  $1 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$ . As ondas do caso 9 seguem o mesmo padrão, porém com uma intensidade que alcança valores a cima de  $25 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$ .

Quando comparados os cenários observa-se uma diferença muito pequena entre os cenários A e B para o caso 7, onde as ondas de sudeste são menos intensas. Já no caso 9, com ondas mais energéticas, verifica-se que no cenário B, o transporte no sentido sul-norte é intensificado.



**Figura 97** – Gradiente do transporte de sedimentos ( $\text{m}^3/\text{m}/\text{hora}$ ) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do Caso 7:  $H_s=1,36\text{m}$ ,  $p=9,31\text{s}$ ,  $\text{Dir}=143,5^\circ$ .

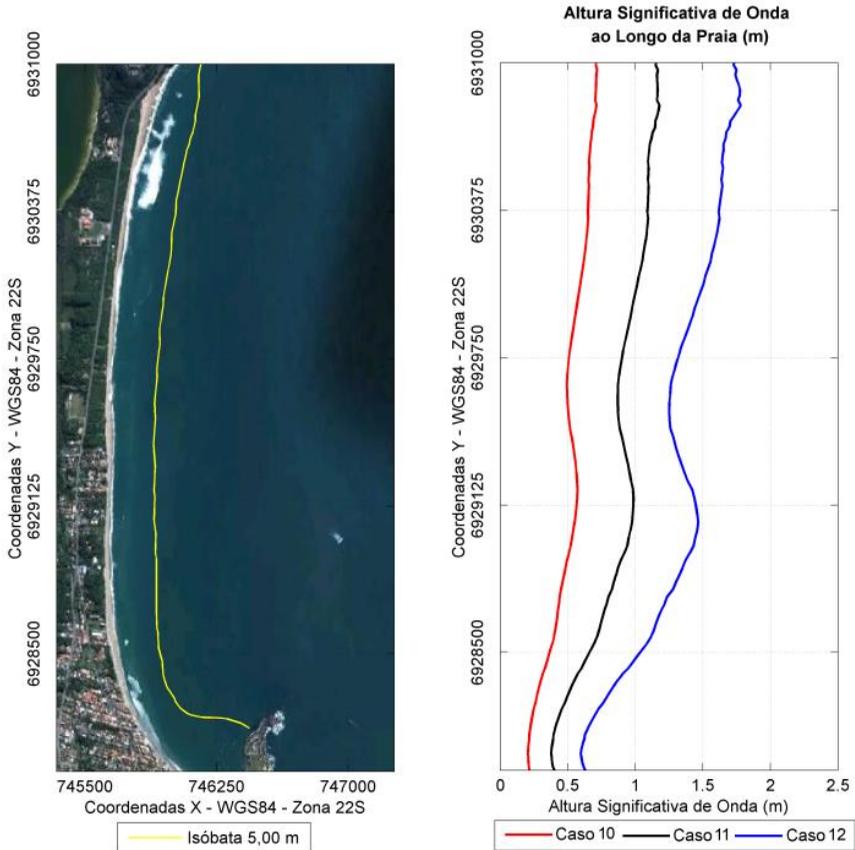


**Figura 98** – Gradiente do transporte de sedimentos ( $\text{m}^3/\text{m}/\text{hora}$ ) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do caso 9:  $H_s=3,15\text{m}$ ,  $T_p=10,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=147,9^\circ$ .

### 5.7.5 Sistemas de ondas de Sul (Casos 10, 11 e 12)

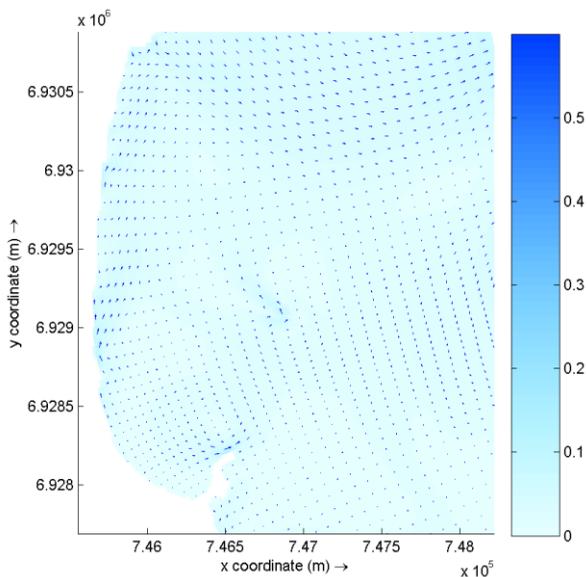
Já as ondas do quadrante sul (caso 10, 11 e 12) começam a ter uma interferência mais significativa da morfologia local, sendo difratadas inicialmente ao sul da praia da Armação pela Ponta do Facão (morro do Matadeiro) (Figura 99). Onde sua direção começa a ser alterada e altura de

onda atenuada. No setor norte as ondas atingem a zona de arrebentação com altura de onda mais elevada, e vão diminuindo até o setor sul.

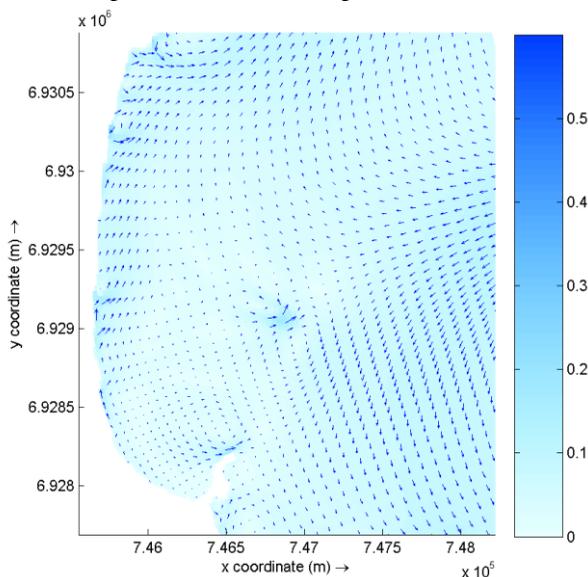


**Figura 99** – Variação da altura significativa de onda ao longo do perfil longitudinal da isóbata de 5 metros. Caso 10:  $H_s=1,63\text{m}$ ,  $T_p=10,13\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$ ; Caso 11:  $H_s=2,5\text{m}$ ,  $T_p=10,63\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$ ; Caso 12:  $H_s=3,43\text{m}$ ,  $T_p=11,1\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$ .

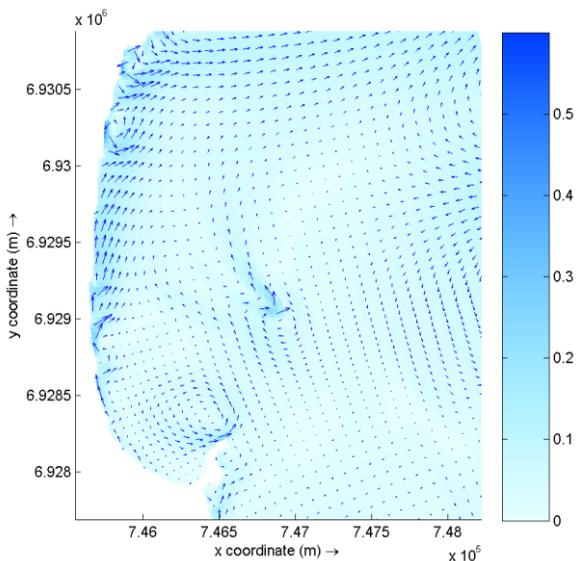
E as correntes sob influência das ondas do quadrante sul (caso 10, 11 e 12) possuem sentido predominante de sul pra norte e as menores intensidades encontradas (Figura 100 a Figura 102).



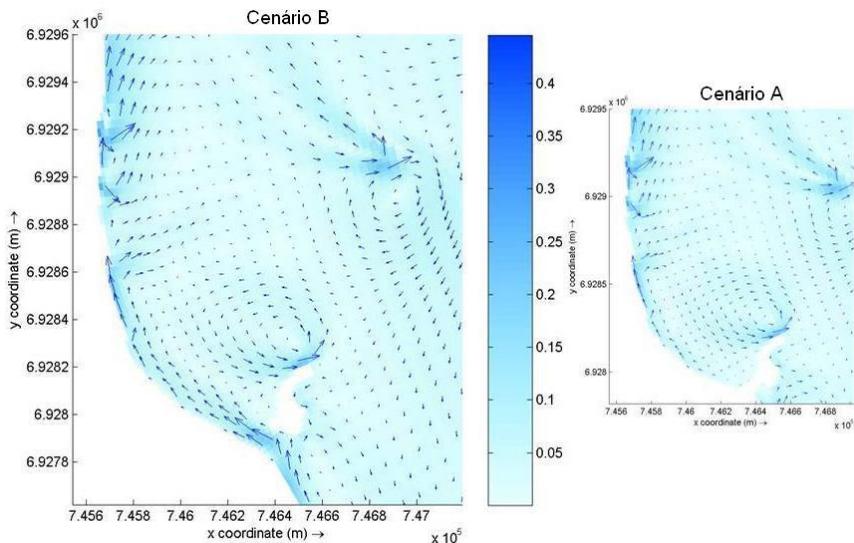
**Figura 100** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 10 de ondas:  $H_s=1,63\text{m}$ ,  $T_p=10,13\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$  para o cenário A.



**Figura 101** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 11 de ondas:  $H_s=2,5\text{m}$ ,  $T_p=10,63\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$  para o cenário A.



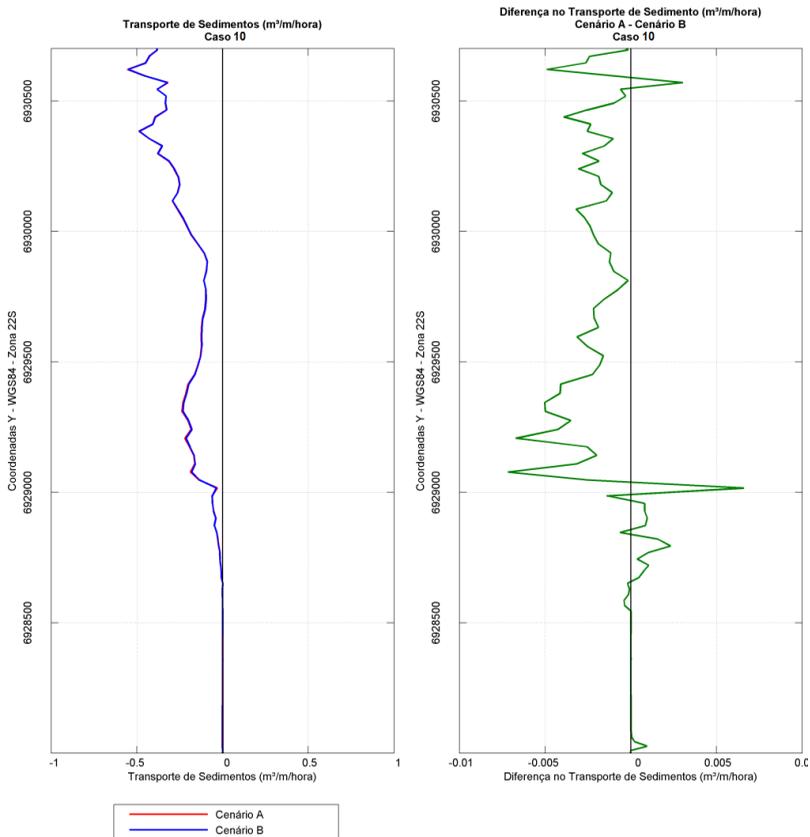
**Figura 102** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 12 de ondas:  $H_s=3,43\text{m}$ ,  $T_p=11,1\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$  para o cenário A.



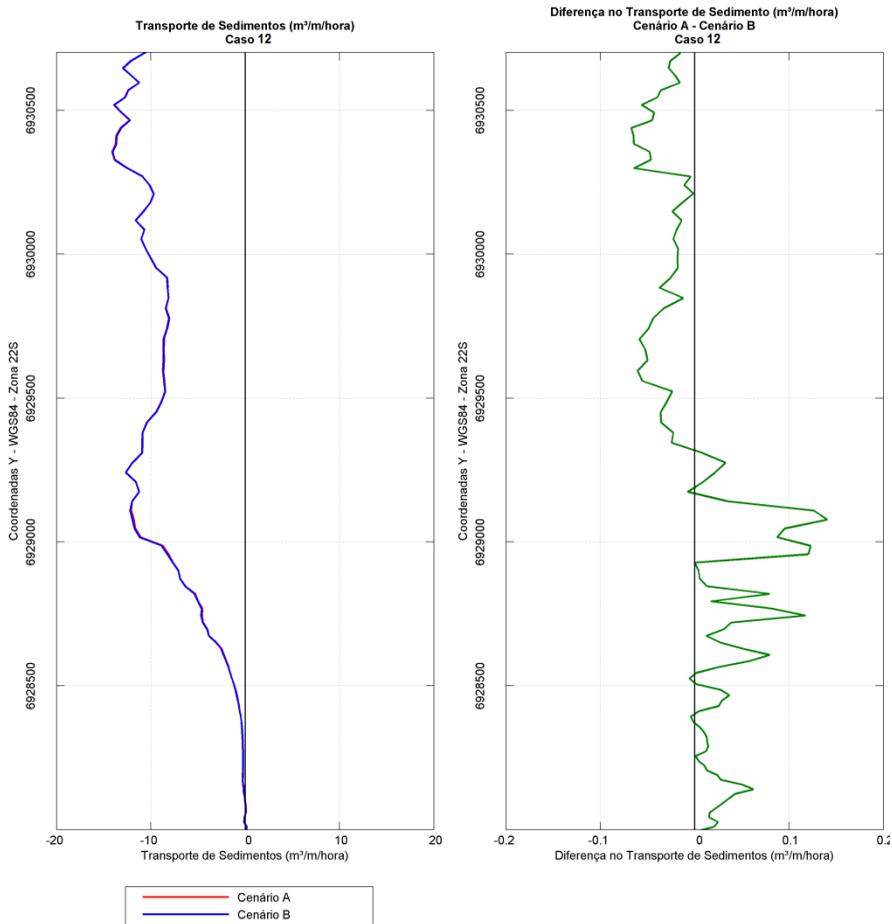
**Figura 103** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 11 de ondas:  $H_s=2,5\text{m}$ ,  $T_p=10,63\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$  para o cenário B, e no detalhe o cenário A.

Para os casos de ondas de sul são encontrados as menores magnitudes de transporte de sedimentos. Para o caso 10 (Figura 104) o transporte é inferior a  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$ , e ocorre apenas mais ao norte da praia. Já para o caso 12 (Figura 105), onde a altura de ondas é mais intensa, o volume transportado chega a  $10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$ . Porém também interferindo minimamente no setor sul. Em todos estes casos o transporte tem direção predominante de sul pra norte.

Comparando os cenários verifica-se que a influencia do molhe para o transporte sedimentar derivado do sistema de onda de sul é muito pequena quando comparada aos outros sistemas. Isto ocorre devido o próprio transporte sedimentar no setor sul ser muito baixo sob essas condições de ondas.



**Figura 104** – Gradiente do transporte de sedimentos ( $\text{m}^3/\text{m}/\text{hora}$ ) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do Caso 10:  $H_s=1,63\text{m}$ ,  $T_p=10,13\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$ .



**Figura 105** – Gradiente do transporte de sedimentos (m<sup>3</sup>/m/hora) ao longo da costa resultante integrado para 24 horas de propagação do Caso 12: Hs=3,43m, Tp=11,1s, Dir=180°.

## 5.7.6 Síntese dos resultados

### Ondas

Uma característica que ficou evidente em todos os cenários de onda incidente é que a região mais próxima a ilha das Campanhas possui um decaimento intenso de alturas de onda. Isto ocorre uma vez que o local é extremamente protegido das ondulações principalmente dos quadrantes sudeste e sul. Além da ilha, o parcel existente na porção centro-sul da praia também é um forte atenuador da altura de onda. A influência da ilha das Campanhas e do parcel na distribuição da altura de ondas ao longo da enseada e consequente padrão de correntes e transporte sedimentar também foi identificada por Nicolau & Thiesen (2011).

Analisando por setores, o norte da praia da Armação é atingido pelos maiores valores de altura significativa de onda de toda a enseada. O setor central se comporta de forma semelhante ao norte, porém protegido pelo parcel e pela ilha das Campanhas nos sistemas de ondas do quadrante sudeste e sul. E por fim o setor Sul é o que recebe menor energia de onda, já que é totalmente protegido pela Ilha das Campanhas dos sistemas de sudeste e sul. São as ondas de leste que conseguem atingir de maneira mais significativa este setor.

### Correntes

Quanto a velocidade das correntes, estas alcançaram valores máximos nos casos de alta energia de ondas do quadrante leste e sudeste (caso 3 e caso 6), atingindo até 0,55 m/s. E os valores mínimos foram encontrados com o ambiente sob regime de ondas de sul e sul-sudoeste, com valores mínimos de velocidade de corrente de 0,05 m/s. Valores semelhantes também foram encontrados por Abreu de Castilhos (1995) que indicou que as correntes variavam de 0,05 a 0,66 m/s de acordo com a altura de ondas incidentes.

O padrão de correntes encontrado foi com sistemas de ondas de nordeste e leste as correntes fluem no sentido norte-sul, e nos sistemas de ondas de sudeste e sul as correntes vão do sul para o norte. Sendo que no sul da praia, as correntes provenientes de norte, ao encontrarem o obstáculo da ilha das campanhas retornam paralelamente a linha de costa para norte que ao encontrar a correntes vindo para o sul se unem sentido leste, para fora da enseada, gerando uma corrente de retorno em frente ao parcel. Kubelka *et al.*, (2012) ao progredir os sistemas de ondas de nordeste, leste e sudeste encontrou padrões de correntes semelhantes, com leste e nordeste gerando uma corrente mais intensa com direção resultante de norte para sul. E as ondas de sudeste formando correntes mais fracas com sentido sul-norte.

Para Abreu de Castilhos (1995), a formação de correntes de retorno no sul da praia, decorrente das correntes que fluem no sentido norte-sul pode ser a responsável pelo déficit sedimentar no sul da praia.

Através desta análise pode se verificar que as correntes mais intensas foram geradas pelos casos máximos de altura de ondas do quadrante leste e sudeste. E as correntes mais fracas estão associadas aos sistemas de ondas do quadrante sul e sul-sudoeste.

Para as correntes geradas pelas ondas de todos os quadrantes o que se observa no cenário B, com a ausência do molhe, é uma intensificação das correntes geradas na zona de sombra. As correntes vindas da praia do Matadeiro com direção sul-norte, ao passarem pela área estreita entre a praia e a ilha das Campanhas se intensificam e alimentam as correntes da praia da Armação com ainda mais energia (Figura 94 a Figura 97).

### **Transporte de sedimentos**

Analisando os efeitos da incidência dos sistemas de ondas de nordeste, leste, sudeste e sul na praia da Armação, pode se observar que o setor norte da praia é atingido por todos os sistemas de ondas propagados, enquanto o setor sul é atingido apenas pelos sistemas de nordeste e leste. Como consequência desse alto grau de exposição do setor norte, temos a alta variabilidade deste perfil praiado observada em análises realizadas neste trabalho e em outros como Abreu de Castilhos (1995) e Oliveira (2009).

As taxas de transporte sedimentar avaliadas demonstraram que os sistemas de ondas de leste e sudeste são os mais eficientes no volume de sedimentos transportados. Sendo que as ondas de sudeste atuam de forma mais significativa no setor norte e central, enquanto as ondas de leste atuam ao longo de toda a praia (Tabela 29).

Os sistemas de ondas de sul e sudeste transportam sedimentos de sul para norte, enquanto os sistemas de ondas de nordeste e leste transportam sedimentos de norte para sul. Com exceção do setor sul, que sofre a influência da Ilha das Campanhas e gera uma corrente de sentido inverso (sul-norte).

Valores próximos de taxa de transporte sedimentar foram encontrados por Abreu de Castilhos (1995) para os sistemas de ondas de NE e SE. Com ondulações de NE ( $H_s$  entre 0,5 e 1,0 m) os sedimentos migraram para o sul em uma taxa de 28 m<sup>3</sup>/dia (ou 1,16m<sup>3</sup>/hora). Para as ondas de SE ( $H_s$  entre 1 e 2 m) o traçador indicou um transporte de sedimentos para o norte, em uma taxa de 166 m<sup>3</sup>/dia (ou 6,9 m<sup>3</sup>/hora).

Embora casos com maior altura estejam relacionados a maior taxa de transporte litorâneo, sua baixa frequência de ocorrência faz com que sua

magnitude final ao longo do tempo seja menor que casos de menor altura e alta frequência.

**Tabela 29** – Variação na taxa de transporte sedimentar ( $m^3/m/hora$ ) por setores da praia para caso de onda propagado para o Cenário A. Valores positivos indicam transporte de norte para sul e valores negativos de sul para norte.

Sistemas de ondas	Caso de onda	Hs (m) em águas rasas	Taxa média de transporte sedimentar por setor ( $m^3/m/hora$ )		
			Norte	Central	Sul
Nordeste	1	0,6	0 a +0,3	0 a +0,3	0 a -0,8
	2	0,8	+0,2 a +1,0	+0,2 a +1,0	-0,4 a -1,8
	3	1,2	+1,5 a +7,0	+3 a +7,0	0 a -8,0
Leste	4	0,8	+2,1 a +5,2	+0,8 a +3,8	+3,2 a -1
	5	1,3	+5,3 a +10,6	+2,3 a +9,6	+6,5 a -3
	6	1,6	+18 a +32	+7 a 30	+7 a -10
Sudeste	7	0,8	-0,5 a -1,7	-0,5 a -1,4	0 a -0,5
	8	1,2	-4,3 a -9,2	-4,1 a -8,5	-2,1 a +3
	9	2,1	-25 a -43	-20 a -42	-20 a +1,3
Sul	10	0,6	-0,2 a -0,6	-0,1 a -0,3	0 a -0,1
	11	1,0	-2,2 a -4,1	-1,1 a -2,6	0 a -1,6
	12	1,6	-8 a -13	-7 a -12	0 a -7

Porém um evento de curta duração e alta intensidade pode impactar significativamente o sistema praiado quando este é suscetível às ondulações deste setor e necessita de um tempo longo para recuperação deste evento. Segundo Kubelka *et al.*, (2012) no período em que ocorreram os processos erosivos na praia da Armação (março a maio de 2010), as ondulações de leste com 1,5 metros foram as mais frequentes para o período, divergindo do padrão encontrado por Araujo *et al.*, (2003) onde as ondulações de sul dominam neste período do ano. E atribui a estas ondulações a possível causa dos eventos erosivos de 2010. Os resultados de transporte sedimentar encontrados neste trabalho corroboram com essa hipótese já que as ondas de leste se mostraram muito eficientes no transporte de sedimentos no setor sul.

## 6. Conclusões

A praia da Armação teve sua ocupação iniciada nas décadas de 80 e 90, com uma forte urbanização no setor Sul, moderada no setor Central e muito baixa no setor Norte. Essa gradação da ocupação ocorreu devido as águas calmas do setor Sul, que protegido pela Ilha das Campanhas, abrigava as embarcações dos pescadores, primeiros moradores da praia. Depois dos pescadores vieram os veranistas e por fim moradores fixos. Essa colonização, principalmente no setor Sul e alguns trechos do setor Central, aconteceu muitas vezes de forma irregular. Suprimindo totalmente as áreas de restinga e dunas primárias.

Esta ocupação indevida gera problemas principalmente em eventos de alta energia, onde a praia necessita do estoque sedimentar das dunas para o processo natural de proteção e recuperação praial. Além do resultado do modelo de Perfil de Equilíbrio em Planta, que indica que para a praia da Armação atingir seu equilíbrio estático, parte do setor sul terá de sofrer retração da Linha de Costa. O que devido a fixação do ambiente pelo processo de urbanização se torna inviável.

Quanto a sedimentologia, o arco praial da Armação apresenta desenvolvida gradação lateral de tamanho de grão. O comportamento geral do tamanho médio do grão ao longo da praia variou de areia grossa no setor Norte, areia muito grossa no setor Central e areia fina no setor Sul. Essa gradação longitudinal é resultante principalmente da energia de ondas atuante em cada setor, característica da fonte sedimentar e selecionamento a partir das correntes longitudinais.

As diferentes propriedades granulométricas da praia somadas ao nível energético de cada ambiente definem a forma dos perfis praiiais. Os perfis 01 e 02, compostos por areia grossa, possuem crista de berma bem pronunciada, e alta declividade na face. Foram os perfis que apresentaram maior variação de volume entre as duas campanhas. Indicativo da marcante sazonalidade e elevada altura de onda que atinge este setor. Os perfis 3 e 4, os mais inclinados de toda a praia, foram os que apresentaram maior estabilidade entre as campanhas. Já os perfis 5, 6 e 7, apresentaram amplitudes intermediárias de variação no volume de sedimentos. Pois apesar de localizados na zona mais exposta da praia, seus grãos com tendência de areia muito grossa requerem uma elevada energia de onda para seu transporte. Chegando próximo ao setor sul da praia, os perfis 8 e 9 já apresentam maiores extensões e menores declividades que todos os anteriores, possuem a maior fração de areia média de toda a praia. No extremo sul, o perfil 10 é o mais plano, fato resultante da sua composição predominante por areia fina. A sua baixa variabilidade volumétrica

entre as campanhas ocorre devido à proteção induzida pela Ilha das Campanhas.

Na análise da variação da linha de lоста observa-se que no primeiro período analisado, a praia sofreu retração no setor Norte e Central e uma intensa progradação no setor Sul (1938 – 1957 – 1977). No período seguinte (1977 – 1994), o processo se inverte e o setor Sul passa a retrair enquanto o setor Norte prograda. Esse processo concorda com o clima de ondas do período, com ondas predominantes do quadrante S e SE, que geram uma deriva litorânea resultante para Norte. Entre 1994 e 2002 o padrão se inverte novamente, com o setor Norte sofrendo retração e o sul progradação. Para o mesmo período observa-se uma queda no número de ocorrência das ondas de SE e aumento de ocorrência e intensidade de NE e principalmente de E. Cabe salientar que as ondas de E não são tão efetivas quanto ao processo de deriva litorânea, já que estas chegam paralelas a linha de costa. Porém a forte queda de intensidade e ocorrência das ondas de SE e em menor proporção nas ondas de S, e sensível aumento da intensidade e ocorrência das ondas de NE, são capazes definir o transporte sedimentar resultante de norte para sul.

No período seguinte (2002 – 2009), o primeiro padrão se repete, onde o setor central e sul sofrem retração da linha de costa, enquanto o setor norte prograda. Tal comportamento pode ser explicado pelo aumento da intensidade e ocorrência das ondas de SE e aumento da intensidade das ondas de S. Somadas a diminuição da ocorrência e intensidade das ondas de E e intensidade das ondas de NE.

A relação dos estudos das variações de linha de costa e clima de ondas nos indica que o padrão de ondas atuante na enseada é fator contundente nos processos de transporte sedimentar e conseqüente progradação e retração da LC.

O sistema praiial da praia da Armação sofre influência de 4 sistemas de ondas principais: nordeste, leste, sudeste e sul. Sendo os sistemas de sudeste e leste, além dos mais frequentes na região, os que possuem maior capacidade de transportar sedimentos na área de estudo.

O transporte sedimentar gerado pelo sistema de ondas de sudeste tem direção de sul pra norte com uma magnitude de até  $1 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$  para ondas de 1 m. Já as ondas de leste geram um transporte de norte pra sul no setor norte e central, e de sul pra norte no setor sul. E são capazes de transportar até  $40 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$  para ondas com altura significativa de 2 metros.

Os sistemas de ondas de nordeste formam correntes paralelas a costa com direção predominante de norte para sul, com magnitude inferior a  $0,5 \text{ m}^3/\text{m}/\text{hora}$  para ondas até 1 metro. E as ondas de sul, das quais a enseada da

Armação é extremamente protegida, transportam sedimentos apenas no setor norte e central, com magnitude de até 0,5 m<sup>3</sup>/m/hora para ondas de 1,6 metros.

Dentre estes sistemas de ondas analisados, as ondas de leste merecem destaque pela alta capacidade de remobilização de sedimentos na área de estudo. Ao verificar que este sistema de ondas vem aumentando em ocorrência e intensidade ao longo dos últimos 30 anos, e que também foi o principal sistema de onda atuante durante o evento erosivo ocorrido na praia da Armação, conclui-se que a retração da linha de costa observada no setor central e sul da praia nos últimos anos possui relação com o clima de ondas atuante.

Cabe avaliar que, apesar dos processos de retração e progradação da linha de costa dos últimos 30 anos concordarem com alterações periódicas do clima de ondas, quando avaliado o período total analisado (1938 – 2011), observa-se uma retração da praia em -0,07 metros por ano. Assim, como nos últimos 17 anos (1994 – 2011) verifica-se uma retração da praia em todos os setores, ocorrendo de forma mais intensa no setor Sul. O que nos indica não somente uma realocação do estoque sedimentar ao longo da enseada de acordo com os padrões energéticos, e sim, uma forte evidencia de um balanço sedimentar negativo.

Somados ao clima de ondas, tem-se o molhe localizado no extremo sul da praia da Armação. Como pode ser observado no estudo das correntes e transporte de sedimentos, para todos os sistemas de ondas atuantes é formada uma corrente de sul pra norte. Esta corrente na ausência do molhe ganha força sendo alimentada pelas correntes provenientes da praia do Matadeiro. Estas, somadas ao aporte do rio Quincas D'água, provavelmente abasteciam o setor sul com sedimentos em períodos de baixa energia de ondas, repondo o estoque sedimentar perdido pelas fortes correntes geradas neste setor em eventos de alta energia.



## REFERÊNCIAS

ABREU DE CASTILHOS, J. Estudo evolutivo, sedimentológico e morfodinâmico da Praia da Armação, Ilha de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFSC. 134p. 1995.

ABREU DE CASTILHOS, J.; HOWA, H.; RESSEGUIER, A.; Application de la technique de tracage fluorescent dans l' "évaluation du transport côtier a la plage d'Armação, ile de Santa Catarina, Bresil. In: SIERRA DE LEDO, B.; KLINGEBIEL, A.; SORIANO SIERRA, E. (Eds.). Atas, Colóquio Franco-brasileiro – Manejo costeiro da Ilha de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis. 95-106 pp. 1997.

ABREU DE CASTILHOS, J.; GRÉ, J.C.R.; HORN FILHO, N.O. Ocupação urbana da orla nas praias oceânicas da Costa Leste da Ilha de Santa Catarina: riscos de erosão costeira. In: 11o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental ABGE. Florianópolis. Resumos... 1231-1242pp. 2005.

ABREU DE CASTILHOS, J. Evolução dos processos erosivos na praia da armação, Ilha de SC, entre 1990 e 2010. Anais Congresso Brasileiro de Gologia. 388p. 2010.

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. Obras e Gestão de Portos e Costas. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher. 688 p. 2009.

ANDRADE, C. F. Estimativa do caudal sólido anual afluyente ao sistema lagunar da ria Formosa – Algarve, Portugal. *Geolis*, III (1/2): 175-184. Lisboa. 1990.

ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. Interpretação de dados de prospecção geoquímica com o auxílio da estatística. Porto Alegre: CPRM. 73 p. 2010.

ARAUJO, C. E. S., FRANCO, D., MELO, E, & PIMENTA, F. Wave regime characteristics of the Southern Brazilian coast. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Paper No. 97. 15p. 2003.

ARAUJO, R. S. ; SILVA, G. V. ; FREITAS, D. ; KLEIN, A. H. F. .Gorreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação da linha de costa. In: Alcántara-Carrio, J.; Correa, I.D.; Isla, F.; Alvarado, M.; Klein,

A.H.F. ; Cabrera, J.A., y Barlow, R.. (Org.). Metodologías en teledetección aplicada a la prevención de amenazas naturales en el litoral. 1 ed. Madrid: Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencias y Tecnología para el Desarrollo, v. , p. 123-138. 2009.

Atlantic States Marine Fisheries Commission (ASMFC). Beach Nourishment: A Review of the Biological and Physical Impacts Habitat Management Series # 7. EUA. 2002.

BANDEIRA, J. V. Estimativa do Transporte Litorâneo em torno da Embocadura do Rio Sergipe;M.Sc. thesis, Federal University of Minas Gerais, Brazil, November. 1972.

BASCOM, W. N.The relationship between sand-size and beach face slope. Transactions, American Geophysical Union. USA, v. 32, p. 866-874. 1951.

BATTJES, J. A.; JANSSEN, J. P. F. M. Energy Loss and set-up due to braking of random waves. **In:** Proceedings of 16th international conference on coastal engineering, New York. p. 569-587. 1978.

BATTJES, J. A. Shallow water wave modelling.Proc. Int.Symp.: Waves – Physical and Numerical Modelling, Vancouver., 1, 1 – 23. 2006.

BENTES, A. M. L. ; FERNANDEZ, G. B. ; RIBEIRO, A. Y. . Estudo da Morfodinâmica de Praias Compreendidas entre Saquarema e Macaé - RJ. Oecologia Brasiliensis, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 229-243, 1997.

BEREK, E.P. and DEAN, R.G., Field investigation of longshore transport distribution. In: Proceedings of the 18th International Conference on Coastal Engineering (Cape Town, South Africa, ASCE), pp. 1620–1639. 1983.

BERKHOFF, J.C.W. Computations of combined refraction – diffraction. Proc. 13th Int. Conf. Coastal Engineering. ASCE, New York, pp. 471– 490. 1972.

BIRD, E. C. F., Beach management. England: John Wiley & Sons Ltd., 1999.

BITENCOURT, D. P.; QUADRO, M. F. L.; CALBETE, N. O. Análise de dois casos de ressaca no litoral da região sul no verão de 2002. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2002. p. 3910-1917. 2002.

BOER, S., DE VRIEND, H. J. and WIND, H. G. A Mathematical Model for the Simulation of Morphological Processes in the Coastal Area, Proc. 19th ICCE, Houston, USA, pp. 1437-1453. 1984.

BONANATA, R.; MEDINA, R.; SILVEIRA, L.; BENEDET, L. Metodología para la Caracterización del Clima Marítimo em un Punto Cerca de la Costa a Partir de una Serie de Datos em Aguas Profundas. VI Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria. 2010.

BOWEN, A. J., and INMAN, D. L. Budget of Littoral Sands in the Vicinity of Port Arguello, California, Technical Memorandum No. 19, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Corps Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS. 1966.

BOOIJ, N.; HOLTHUIJSEN, L. H.; PADILLA-HERNANDEZ, R. Numerical wave propagation on a curvilinear grid. Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES'97, ASCE, 286-294, 1997.

BRUUN, P. Coast erosion and development of beach profiles. Waterways Experiment Station, Army Corps of Engineers, Beach Erosion Tech. Memo, n. 44, 82p. 1954.

CAMUS, P. Metodologías para la Definición del Clima Martítimo em Aguas Profundas y Someras: Aplicaciones em el Corto, Medio y Largo Plazo. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. 2009.

CARNEIRO, M. C. S. M., MARQUES de Sá, L. A. C., GOMES, E. T. A. O Monitoramento da Erosão Costeira – Estudo a partir das Praias de Casa Caiada e Rido Doce – Olinda. XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. Brasil. 2003.

CUNHA, S. B. da. Impactos ambientais urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

CAMFIELD, F.E. & MORANG, A. Defining and Interpreting Shoreline Change. *Ocean and Coastal Management* 32 (3): 129-151. 1996.

CAMPBELL, T. J. & BENEDET, L. Beach Nourishment Magnitudes and Trends in the U.S. International Coastal Symposium, 8º, Summary: 277, Itajaí, Brasil. 2004.

CARTER, R. W. G. Coastal environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. London: Academic Press, 617p. 1988.

CARUSO, M. L. O desmatamento da Ilha de Santa Catarina de 1500 aos dias atuais. Florianópolis: UFSC. 1983

CARUSO Jr., F. Mapa Geológico da Ilha de Santa Catarina – Escala 1:100.000. Texto Explicativo e Mapa. Porto Alegre. Notas Técnicas, 6. p 1-28. 1993.

CARUSO JR., F. & AWDZIEJ, J. Mapa geológico da Ilha de Santa Catarina – Escala 1:100.000. 1993.

CHAPAPRIA, Vicent Esteban. Obras Marítimas. Valencia, Espanha: Editorial de La UPV. 390 p. 2004.

CAPOBIANCO, M. Nourishment design and evaluation: applicability of model concepts. Europe: Coastal Engineering v47,p. 113– 135. 2002.

CEM – COASTAL ENGINEERING MANUAL. Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington DC. EM 1110-2-1100. 2002.

CHADWICK, A.; MORFETT, J. Hydraulics in Civil and Environmental Engineering. Part 2 Aspects of Hydraulic Engineering. 1998

CRUZ, O. A ilha de Santa Catarina e o continente próximo: um estudo de geomorfologia costeira. Florianópolis. Editora da UFSC. 276p. 1998.

DE VRIEND, H. J.; CAPOBIANCO, M.; CHESHER, T.; DE SWART, H. E.; LATTEUX, B; STIVE, M. J. F. Approaches to Long-term modeling of coastal morphology: a review. Coastal Engineering, Vol. 21. P. 225-269. 1993.

DEAN, R. G. , Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf coasts, Department of Civil Engineering, Ocean Engineering Report, n. 12, University of Delaware, Newark, DE. 1977.

DEAN, R. G. Beach Nourishment. Florida: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2002.

DEAN, R. G; ZIMMERMANN, C.; PENCHEV, V.; VERHAGEN, H. J. Environmentally Friendly Coastal Protection. IV Earth and Environmental Sciences – Vol. 53. Published by Springer. Varna, Bulgaria. 2004.

DEAN, R. & DALRYMPLE. Coastal Processes. 2002.

DHI Inc. 301 South State Street, Newtown, PA 18940, USA.  
[http://www.dhisoftware.com/general/Contact\\_info.htm](http://www.dhisoftware.com/general/Contact_info.htm). 2003

DIAS, J.M.A. Estudo de avaliação da situação ambiental e proposta de medidas de salvaguarda para a faixa costeira portuguesa. 1993, Disponível em: <<http://w3.ualg.pt/~jldias/JAD/indexeB.html>>. Acesso em: 08 jul. 2012.

DIAS, J.M.A; FERREIRA; PEREIRA. Estudo sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré. 1994. Edição eletrônica: w3.ualg.pt/~jldias/JAD/ebooks. 2005.

DOBROCHINSKI, J. P. H. Redução e esquematização de clima de ondas para modelagem morfológica. 108 p. Monografia (Bacharel em Oceanografia). Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 2009.

DUANE, D. B. Significance of skewness in recent sediments. Journal of Sedimentary petrology, v.34, n.4, p. 864-874. 1964.

FELIX, A. Determinação dos limites de ocorrência dos setores morfodinâmicos ao longo do arco praiial dos Naufragados, ilha de Santa Catarina/SC – Brasil . Dissertação de mestrado em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC. 233p. 2010.

INMAN, D. L. & CHAMBERLAIN, T. K. Tracing beach sand movement with irradiated quartz. Journal Geophys. Res. 64. N° 01. 1959.

IPUF. Plano Diretor Participativo da Cidade: Leitura da Cidade (vol. 1). Florianópolis: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. 2008.

FAIRLEY, I.; DAVIDSON, M.; KINGSTON, K.; DOLPHIN, T.; PHILLIPS, R. Empirical orthogonal function analysis of shoreline changes behind two different designs of detached breakwaters. Coastal Engineering, Special Issue n°56, 1097-1108p. 2009.

FERREIRA, Ó.; DIAS, J.M.A.; TABORDA, R. Sea-Level Rise, Sediment Input and Shoreline retreat: The Case of Aveiro – Cabo Mandego (Portugal). *Littoral* (Symp. Intern. Assoc. EUROCOAST), p. 314-318. Marselha. 1990.

FOLK, R.L. & WARD, W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size and setting velocity. *Journal of Sedimentary Petrology*. 27:3-7. 1957.

FRANCO, D. ; MELO FILHO, Eloi .Relevância dos mares secundários na caracterização do regime de ondas ao largo da Ilha de Santa Catarina, SC (2002-2005). In: III Seminário e workshop em Engenharia Oceânica. Rio Grande (RS). Anais III Seminário e workshop em Engenharia Oceânica, 2008. p. 1-20. 2008.

FRANCO, D. Parecer técnico. Variações do nível do mar na baía de Florianópolis. Laboratório de Hidráulica Marítima – Lahimar. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis. 9 p. 2009.

FRANZONI A.M.B. Avaliação do Meio Físico para Fins de Planejamento Geoambiental no Traçado e Manutenção de Rede Viária: Ilha de Santa Catarina. Rio Claro, Tese de Doutorado. UNESP. 2000.

FRANZONI, A. M. B. Análise Morfoestrutural por Satélite Visando a Caracterização e Proteção Ambiental de Mananciais Hídricos Subterrâneos In. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa. ABES. 2001.

FRANZONI A.M.B. (sem data) Influência da Estrutura Geológica na Compartimentação Ambiental da Ilha de Santa Catarina/Brasil: Uma abordagem por Sensoriamento Remoto.

FREYESLEBEN, L.M.C. Aspectos essenciais do ritmo climático de Florianópolis. 1979. 49 f. Trabalho Técnico. Florianópolis, UFSC. 1979.

GARCIA, N.; LARA, J. L.; LOSADA, I.J. 2-D numerical of near-field flow at low-crested permeable breakwaters. *Coastal Engineering*, Special Issue nº51, 991-1020p. 2004.

GODA, Y. Derivation of unified wave overtopping formulas for seawalls with smooth, impermeable surfaces based on selected CLASH datasets. *Coastal Engineering*, Special Issue nº56, 385-399p. 2009.

GOMES, G. O.; FRANCO, D.; HAMMES, G.; BARLETTA, R. MELO FILHO, E. MARIO, H. F. de S. Validação de reanálise do Wave Watch III ao largo da Ilha de Santa Catarina com medições de ondógrafo direcional (2001 – 2005). Anais do III Seminário de Engenharia Oceânica e Portuária – SEMENGO. Rio Grande. 18p. 2008.

GUEDES JUNIOR, Alexandre. Áreas de proteção ambiental para poços de abastecimento público em aquíferos costeiros. 2005. 184p. Tese (doutorado). Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.

GRÊ, J. C. R. Aspectos sedimentares da plataforma continental de Santa Catarina. Porto Alegre, 1983, 90p. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1983.

R.S. Araujo, G.V. Silva, D. Freitas y A.H.F. Klein. GEORREFERENCIAMENTO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS E ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – Laboratório de Oceanografia Geológica. Univ. do Vale do Itajaí.- SC Brasil.

HAPKE, C. J.; REID, D.; RICHMOND, B. M.; RUGGIERO, P.; LIST, J. National assessment of shoreline change: Part 3: Historical Shoreline Changes and Associated Coastal Land Loss Along the Sandy Shorelines of the California Coast. U. S. Geological Survey Open-file Report, 2006.

HORN FILHO, N. O.; OLIVEIRA, J. S. de; LEAL, P. C. 1999a. Mapping the Santa Catarina island's coast, Santa Catarina, southeastern, Brazil. In: COASTAL ZONE 99. San Diego, Abstracts: pp.401-403, 1999.

HOEFEL, F. G. & KLEIN, A. H. Beach Safety Issue at Oceanic Beaches of Central Northern Coast of Santa Catarina, Brazil: magnitude and nature. Journal of Coastal Research. v. 26, (ICS'98 Proceeding). Fort Lauderdale: Florida. 1998.

HOEFEL, F. G. Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica. Itajaí: Editora da UNIVALI, 92p. 1998.

HALLERMEIER, R. J. Seaward Limit of Significant Sand Transport by Waves: An Annual Zonation for Seasonal Profiles. Coastal Engineering Technical Aid No. CETA 81-2. Fort Belvoir, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Corps of Engineers. 1981.

HASSELMANN, K., et XV al., Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl., v. 12, p. 1–95, 1973.

HEIDRICH, Caio. Estudo comparativo sedimentológico e morfodinâmico de praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Geografia – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 195p. 2011.

HORN FILHO, N.O. Ilha de Santa Catarina. In: MUEHE, D. et al. (Eds.) Erosão e progradação do litoral brasileiro. 413-436pp. 2006.

HORN FILHO, N. O. (Org.); LEAL, P. C.; OLIVEIRA, J. S. de. Atlas fisiográfico e sedimentológico das praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Programa de Pós-graduação em Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2011.

HSU, J. R. C. & EVANS, C. 1989. Parabolic bay shapes and applications. Proc. Institution of Civil Engineers. v. 87, n. part. 2, p. 557 – 570. 1989.

HOEFEL, F.G. Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica. Editora da UNIVALI. 92p. 1998.

HOLTHUIJSEN, L. H.; HERMAN, A.; BOOIJ, N. Phase-decoupled refraction-diffraction for spectral wave models. Coastal Engineering, v. 49, p. 291-305, 2003.

HOLTHUIJSEN, L. H. Waves in Oceanic and Coastal Waters, Cambridge University Press, 387 pp. 2007.

HUGLES, M. G. et al. Flow velocity and sediment transport in the swash zone of a steep beach. Marine Geology. v. 138. p. 91-103. 1997.

KING, C. Beaches and Coasts. Edward Arnold, London. 570 p. 1972.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. O.; MARCELINO, E. V; GONÇALVES, E. F; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Curitiba: Organica Trading, 2006.

JORGENSEN, S. E. Fundamentals of Ecological Modelling. Amsterdam: Elsevier, 1994.

Klein, A.H.F., Vargas, A., Raabe, A.L.A., Hsu, J.R.C., Visual Assessment of Bayed Beach Stability using Computer Software, Computers & Geosciences, 29: 1249-1257. 2003.

KOMAR, P.D. (1976). Selective longshore transport rates of different grain-size fraction within a beach. Journal of Sedimentary Petrology. Amsterdam, v. 47, n. 4. p.1444-1453, 1977.

KOMAR, P.D. Beach Process and Sedimentation. [S.I]: Prentice Hall, 429 p. 1976.

KOMAR, Paul D & HOLMAN Robert A. Coastal Processes and the development of shoreline erosion. Revista Earth Planet Science. Vol. 14: 237-265. College of Oceanography, Oregon State University, Corvallis, Oregon. 1986.

KOMAR, P. D. Beach processes and sedimentation. 2. ed. New Jersey, USA: Prentice-Hall. 544 p. 1998.

KOMEN, G.J., CAVALERI, L., DONELAN, M., HASSELMANN, K., HASSELMANN, S. and P.A.E.M. Janssen: *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*, Cambridge University Press, 532 p. 1994.

KRAUS, N.C.; ISOBE, M.; IGARASHI, H., SASAKI, T.O. & HORIKAWA, K. Field experiments on longshore sand transport in the surf zone. Proceedings of the 18 th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, 969-988. 1983.

KRUEGER, J. Análise dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos dos eventos de ressaca, ocorridos entre janeiro de 2011 à dezembro de 2010, no estado de Santa Catarina. 2011. 77f. Trabalho de Graduação (Graduação em Oceanografia) – Universidade do Vale do Itajaí, UNIVALI, Itajaí, 2011.

KRUMBEIN, W.C. Size frequency distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4: p. 65-77. 1934.

KUBELKA, B. G; AGUIAR, D. F; ROMEU, M. A. R. Investigação preliminar das causas da erosão sofrida pela Praia da Armação, Florianópolis, em maio de 2010. V Seminário e workshop em engenharia oceânica. Rio Grande. 2012.

MARTINS, L. R.; TABAJARA, L. L. & FERREIRA, E. R. Linha de Costa: problemas e estudos. *Revista Gravel*. Porto Alegre. Nº2. 40 – 56 p. 2004.

LATTEUX, B. Techniques for long-term morphological simulation under tidal action. *Marine Geology*, v. 126, p. 129-141. 1995.

LEAL, P.C.; HORN FILHO, N.O.; OLIVEIRA, J.S. Evidências erosivas do setor centro-norte da praia de Moçambique, Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil. In: 2º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. Geosul, 27:229-231. 1998.

LIVI, N. S. & HORN FILHO, N. O. Aspectos geológicos, geomorfológicos e paleogeográficos da planície costeira da Ilha de Santa Catarina, em base ao estudo dos depósitos quaternários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45°. Belém. Resumos. Belém. CD-ROM, 2010.

LEONT'EV, I. O., Sediment transport and beach equilibrium profile. *Coastal Engineering*. Russia, v. 9, p. 277-291, 1985.

LESSER, G. R.; ROELVINK, J. A.; KESTER, J. A. T. M.VAN; STELLING, G. S. Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coastal Engineering*, 51, 883-915, 2004.

LESSER, G.L. An Approach to Medium-term Coastal Morphological Modelling. PhD dissertation. Delft University of Technology and UNESCO-IHE Institute for Water Education, Holland, 255pp, 2009.

LI, Liang. A fundamental study of morphological acceleration factor. Delft University of Technology. *Deltares*. 120 p. 2010.

- MACHADO, V. B. Mapeamento e análise de obras de engenharia costeira no litoral do estado de Santa Catarina. Monografia de Oceanografia – Universidade do Vale do Itajaí, UNIVALI. 229p. 2010.
- MARTIN, J. L. and McCutcheon, S. C. Hydrodynamics and Transport for Water Quality Modeling. Lewis Publications, Boca Raton, Florida. 1999.
- MARTINS, L.R. Aspectos texturais e posicionais dos sedimentos praias e eólicas da planície costeira do Rio Grande do Sul. Publicação Especial Escola de Geologia/UFRGS, 13, 102 p. 1967.
- MARTINS, L. R.; GAMERMANN, N.; SCHEIBE, L. F. & TEIXEIRA, V. H. Sedimentologia da Ilha de Santa Catarina – areias praias. Boletim da Escola de Geologia, Publicação Especial, 18: p. 1-55. 1970.
- MARTINS, L.R. & URIEN, C. M. Areias da plataforma e a erosão costeira. Revista Gravel. Porto Alegre. Nº 2 4-24p. 2004.
- MARTINS, L. R.; Tabajara, L. L.; Ferreira, E.R. Linha de Costa: problemas e estudos. Gravel. Porto Alegre. Nº 2, 40 – 56. 2004.
- MASHRIKI, H. S. Hydrodynamic and sediment transport modeling of deltaic sediment processes. 2003. 146 f. Dissertation. Bangladesh University of Engineering and Technology. 2003.
- MCANALLY, W. H., Letter, J. V., and Thomas, W. A. Two and Three- Dimensional Modeling Systems for Sedimentation. Proc. Third Int. Symp., River Sedimentation, Jackson, USA. 1986.
- MENDES, J. N. V. & PINHO, J. L. S. Erosão costeira – Metodologias para a sua Quantificação. Universidade do Minho. Braga, Portugal. Número 33. 2008.
- MENDONÇA, Magaly. A dinâmica têmporo-espacial do clima subtropical na região conurbada de Florianópolis/SC. 343 f. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo. 2002.
- MENEZES, J. T. Aspectos morfodinâmicos das praias do litoral centro-norte catarinense. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Vale do Itajaí. 192p. 1999.

MENEZES, J.T. Balanço de sedimentos arenosos da enseada de Balneário Camboriú – SC. 2008. 149f. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MAZZER, A.M. Proposta metodológica para análise de vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira: aplicação em praias arenosas da costa sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, Santa Catarina – Brasil). Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS. 168p. 2007.

MAZZER, Alexandre, M.; DILLENBURG, Sergio, R.; de Gouveia Souza, Célia, R. Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da Ilha de Santa Catarina, Brasil. Revista Brasileira de Geociências. 38 (2): 278 – 294. 2008.

MCLACHLAN, A.; BROWN, A. The Ecology of Sandy Shores. 2. ed. New York, USA: Academic Press. 2006.

MELO, E. F.; HAMMES, G. R.; FRANCO, D.; ROMEU, M. A. R. Avaliação do desempenho do modelo WW3 em Santa Catarina. Lahimar – UFSC. Florianópolis. 2008.

MOFFATT & NICHOL Engineers, 2000. Barataria Basin Existing Data and Numerical Model Review and Analysis. Draft Report Submitted to: State of Louisiana, Department of Natural Resources. Report Prepared by: Moffatt & Nichol Engineers, 2209 Century Drive, Suite 500, Raleigh, NC 27612. July 28, 2000.

MONTEIRO, M. A. & FURTADO, S. M. A. O clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. Florianópolis: Revista Geosul, n° 19 e 20. 1995.

MONTEIRO, M. A. Avaliação das condições atmosféricas de Florianópolis para controle da qualidade do ar. Monografia. Curso de graduação em Geografia, UFSC. Florianópolis. 1992.

MPB, Engenharia. Plano municipal integrado de saneamento básico – PMISB, Parte 2, Diagnóstico da caracterização física. 91f. 2009.

MUEHE, Dieter . Geomorfologia Costeira. In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T (Org). Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicação. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. Cap. 6, p. 191-238. 2002.

MUEHE, Dieter. Definição de limites e tipologias da orla sob aspectos morfodinâmico e evolutivo. In: MINISTÉRIOS DO MEIO AMBIENTE E DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Projeto Orla: subsídios para um projeto de gestão. Brasília: MMA e MPO, 2004. p.13-32. 2004.

MUEHE, Dieter- organizador. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. Brasília: MMA, 2006.

MUEHE, D. & CORRÊA, C.H.T. Dinâmica de praia e transporte de sedimentos na Restinga de Macambamba, RJ. Revista Brasileira de Geociências, v.19, n.3, p.387- 392, 1989.

MULER, Mariela. Avaliação da vulnerabilidade de praias da Ilha de Santa Catarina a perigos costeiros através da aplicação de um índice multicritério. 2012. 213f. Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

NICOLAU, Ana Paula Sueli & THIESSEN, Stephanie. Análise hidrodinâmica e de transporte de sedimentos e propostas para a recuperação da praia da armação. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação de engenharia civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 111 p. 2011

NICOLODI, J. L. & PETERMANN, R. M. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. Revista de Gestão Costeira Integrada. Vol 10 (2): 3 – 29. 2010.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Coasts – Sedimentary Budget (<http://www.noaa.gov/coasts.html>). 2007.

NORDSTROM, K. F. *The use of grain size statistics to distinguish between high and moderate energy beach environments.* Journal of Sedimentary Petrology, v.47, n.3, p.1287-1294, 1977.

OLIVEIRA, Ulisses Rocha de. Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Tese de Doutorado Programa de Pós Graduação em Geografia – UFSC. 222 p. 2009.

OLIVEIRA, M. A. T. & HERRMANN, M.L. P. Ocupação do solo e riscos ambientais na área conurbada de Florianópolis. In: GUERRA, A. J. T.; 2001.

OLIVEIRA, U.R.; HORN FILHO, N.O.; SIMÓ, D. 2006. Erosão costeira em praias urbanizadas da Ilha de Santa Catarina. In: Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro. Florianópolis. Resumos expandidos. Anais do Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro, CDROM, 2006.

OU, S. H., LIAU, J. M., HSU, T. W., TZANG, S. Y., Simulating typhoon waves by SWAN wave model in coastal waters of Taiwan. Ocean Engineering. v. 29, p. 947–971, 2002.

RODRÍGUEZ, D. E. M. G. Morfología de playas em equilibrio. Tesis Doctoral – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, Santander, Espanha. 270f. 1995.

PELZ, F. D.; RAABE, A. L. A.; KLEIN, A. H. F. Desenvolvimento de ferramenta computacional para análise de equilíbrio em planta de praias de enseada. Resumo estendido CBO. IV Congresso Brasileiro de Oceanografia. Rio Grande. 2010.

PETERS, K. and DETTE, H. H. Sediment suspension in the surf zone. In: Coastal Sediments, 1 (Ed. by N. C. Kraus and W. G. McDougal), pp. 195-208, New York. 1999.

PEREIRA, R. S. Processos que regem a qualidade da água da Lagoa dos Patos, segundo o modelo Delft3D. 2003. 137 f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande. 2003.

PEREIRA, E. P. P. Praia da Armação: uma análise das causas e efeitos dos danos provocados em maio de 2010. Monografia (Bacharel em Geografia). Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Florianópolis. 129 p. 2010.

PEREZ, M.R. 2010. Estudio de la Estabilidad de las Playas em la Ensenada de Itapocorói (SC, Brasil). Tesina de Máster Universitario em Gestión Integrada de Zonas Costeras. Santander. 2010.

PIUMBINI, P. P. Clima de ondas de gravidade e estado de agitação marítima em ambientes marinhos no Espírito Santo. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, UFES. Vitória. 108p. 2009.

RIS, R.C. Spectral Modelling of Wind Waves in Coastal Areas, Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, TU Delft, report no. 97-4, 1997.

ROCHA, C. A. A. L. Avaliação da ocupação urbana da Bacia Hidrográfica do Pântano do Sul na Ilha de Santa Catarina usando técnicas de geoprocessamento. 2003. 66p. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis. 2003.

ROELVINK J.A. Coastal morphodynamic evolution techniques. Coastal Engineering 53, 277-287, 2006.

ROGACHESKI, C. E. A dinâmica sedimentar e a caracterização de zonas de erosão acentuada (ZEA) ao longo do arco praial de Massaguaçu, SP. Dissertação. Programa de pós graduação em Oceanografia Geológica – USP. São Paulo. 182 p. 2010.

ROMEU, M. A. R. Método operacional para determinação do estado de mar próximo à costa: aplicação à Ilha de Santa Catarina. Tese de Doutorado Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Florianópolis. 103p. 2007.

ROSATI, J. D. Concepts in Sediment Budgets. Journal of Coastal Research, Coastal Education and Research Foundation, Inc., Vol. 21, No. 2. pp 307-322. 2005.

RUDDORFF, F.M. Geoindicadores e análise especial na avaliação de susceptibilidade costeira a perigos associados a eventos oceanográficos e meteorológicos extremos. 2005. 101f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFSC, Florianópolis, 2005.

RUDORFF, F. M. & BONETTI, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina. *Brazilian Journal Aquatic Science Technology*, 14 (1): 9 – 20. 2010.

SILVA, M. & HORN FILHO, N. O. Roteiro Geológico-Ambiental ao longo da Planície Costeira da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Reunião do Programa de Geologia e Geofísica Marinha – PGGM. UFSC. 2010.

SILVESTER, R. & Hsu, J.R.C. *Coastal Stabilization: Innovative Concepts*, Prentice Hall, Inc. 1993.

SIGNORIN, M. Análise e comparação do clima de ondas do norte, centro e sul de Santa Catarina utilizando modelagem numérica. 95 p. Monografia (Bacharel em Oceanografia). Universidade do vale do Itajaí. Itajaí. 2010.

STALLWORTHY, Mark. Sustainability, coastal erosion and climate change; an environmental justice analysis. *Journal of Environmental Law*. Vol I 8 N° 3, 357-373. 2006.

SOARES, P. H. Análise morfodinâmica do sistema praias Moçambique – Barra da Lagoa através da modelagem numérica. 78 p. Monografia (Bacharel em Oceanografia). Universidade do vale do Itajaí. Itajaí. 2011.

SOUZA, C.R. de G. A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Conseqüências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: Bononi, V.L.R., Santos Junior, N.A. (Org.), *Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado*, pp.48-69, Instituto de Botânica – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN 978-85- 7523-025-1). 2009.

SCHEIBE, L.F. & TEIXEIRA, V.H. Mapa topo-geológico da Ilha de Santa Catarina, Escala 1:50.000. Florianópolis, UFSC. 1970.

SHORT, A. D. & WRIGHT, L. D. Physical variability of sandy beaches. In: *Sandy beaches as ecosystems: 1st International Symposium on Sandy Beaches*, South Africa: McLachlan, A. ; Erasmus, T. (Ed. ), p. 17-21, 1983.

SHORT, A. D. & MASSELINK, G. Embayed and structurally controlled beaches. In handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics, (ed. A.D. Short). p 230-249. 1999.

SHORT, A. Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. John Wiley & Sons, 419p. 1999.

SILVESTER, R., Coastal Engineering. Vol 2. Amsterdam: Elsevier, 338p. 1974.

SILVA, J. C. Modelo Numérico do Relevo Submerso da Região Costeira Catarinense. Relatório Final do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica PIBIC/CNPq – BIP/UFSC no Projeto Ilhas da Costa Sul: Biogeografia, Conectividade Ecológica das Populações Marinhas e Efetividade das Unidades de Conservação. 2008.

SIMÓ, D.H. & HORN FILHO, N. O. Caracterização e distribuição espacial das “ressacas” e áreas de risco na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Revista Gravel. Volume 02. P 93 – 103. Porto Alegre. 2004.

SOUZA, C.R. de G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, SL.; VITAL, H. DILLENBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M. & ADDAD, J.E. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: C.R. de G. Souza et al. (eds.). Quaternário do Brasil. Holos, Editora, Ribeirão Preto (SP). p. 130-152. 2005.

SUGUIO, K. Dicionário de geologia marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol . São Paulo: Biblioteca de Ciências Naturais/USP, V. E. 171p. 1992.

TEIVE, Letícia Frozza. Influência do uso do solo sobre a comunidade de Macroinvertebrados Aquáticos em córregos da Bacia Hidrográfica da Lagoa do Peri, Florianópolis, SC. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Ciências Biológicas. UFSC. 32 p. 2008.

THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., Zichichi, J.L., and MILLER, T.L. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1304. 2005.

TESSLER, T. M. Esquematização do clima de ondas da bacia de Santos para modelagem numérica de morfologia costeira em escalas temporais de meses a anos. Trabalho de conclusão de curso. Curso de graduação em Oceanografia. UNIVALI. Itajaí. 123 p. 2010.

TORRONTEGUY, M.C. Sistema praias Joaquina-Morro das Pedras e praias adjacentes da Costa Leste da Ilha de Santa Catarina: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e fatores condicionantes. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFSC. 158p. 2002.

TRUCCOLO, E.C. Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul, SC. Dissertação de Mestrado, UFSC, 100p. 1998.

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre. UFRGS/ABRH. 1998.

U.S. Army Coastal Engineering Research Center. Shore Protection Manual. 3. ed. U.S. Government Printing Office, Washington, USA. 1977.

US Army Corps Engineer, 1993. HEC-6: Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs, User's Manual. 1993.

VAN RIJIN, L. C. The State of the Art in Sediment Transport Modeling, in Sediment Transport Modeling, edited by Sam S.Y. Wang, 1989. American Society of Civil Engineers, New York. 1989.

XUE, Z.; FENG, A.; YIN, P.; XIA, D. Coastal erosion induced by human Activities: a Northwest Bohai Sea case study. Journal Of Coastal Research. Vol 25 – 3. 723- 733. West Palm Beach, Florida. 2009.

WAMDI group. The WAM model - a third generation ocean wave prediction model, *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810. 1988.

WATTS, G. M. Development and field test of a sampler for suspended sediment in wave action. Beach erosion Board Tech. Memo. N° 34, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station , Vicksburg, MS. 1953.

WANG, P.; KRAUS, N.C., and DAVIS, R.A. Total longshore sediment transport rate in the surf zone: Field measurements and empirical predictions. *Journal of Coastal Research*, 14(1), 269–282. 1998.

WENDT, T. Aplicação de modelo computacional hidrodinâmico a jusante de uma estrutura hidráulica. 107f. Dissertação. Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba. 2009.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class term for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30: p. 377-392. 1922.

WL|Delft Hydraulics. Delft3D-FLOW. Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User Manual. WL|Delft Hydraulics, 2007.

WL|Delft Hydraulics. Delft3D-WAVE. Simulation of short-crested waves with SWAN. User Manual. WL|Delft Hydraulics, 2007.

WL|Delft Hydraulics. Delft3D-RGFGRID. Generation and manipulation of curvilinear grids for FLOW and WAVE. User Manual. WL|Delft Hydraulics, 2007.

Wright, L. D. and Thom, B. G. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Physical Geography*. 1, 412 – 159. 1977.

WRIGHT,L. D. & SHORT,A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*,56: 93-118. 1984.

WHITE, T. E. Status of measurement techniques for coastal sediment transport. *Coastal Engineering*, 35, 17–45. 1998.

WIERGERT, R. G. Simulation models of ecosystems . IN: *Annual Review of Ecology and Systematics*. p. 311 - 338. 1975.

YOUNG, I. R. *Wind Generated Ocean Waves*. Elsevier. 288. 1999.



## **Anexo A**

### **Monografia do Marco – LOC – Estação PA\_ARMAÇÃO**

MONOGRAFIA MARCOS GEODÉSICOS		
Estação: PA_ARMAÇÃO	Última visita: 27/04/2013 Órgão emissor: LOC	
Dados de localização	DATUM horizontal/vertical: WGS 84 Coordenadas: UTM	
Estado: Santa Catarina Município: Florianópolis Distrito/Bairro: Praia da Armação	WGS 84 / SIRGAS 2000 N: 6928119,648 E: 746410,240 H: 2,166 RMS: 0,004 m	SAD 69 N: E: H:
Fonte Planimétrica: GPS PPK	Fonte Altimétrica: GPS PPK	
Equipe: Michel Franco; Maiara Wegner, Anna Luiza Pacheco Dalbosco		
Descrição da Estação: Ponto de Apoio processado com as RBMCs de Imbituba e Lages. Altimetria não corrigida por modelo geoidal.		
Croqui	Itinerário:	
	Marco localizado na Península da Praia da Armação sobre as pedras.	
Fonte: GOOGLE EARTH		

MONOGRAFIA MARCOS GEODÉSICOS

VISUALIZAÇÃO FOTOGRÁFICA

Foto: Anna Luiza Pacheco Dalbosco



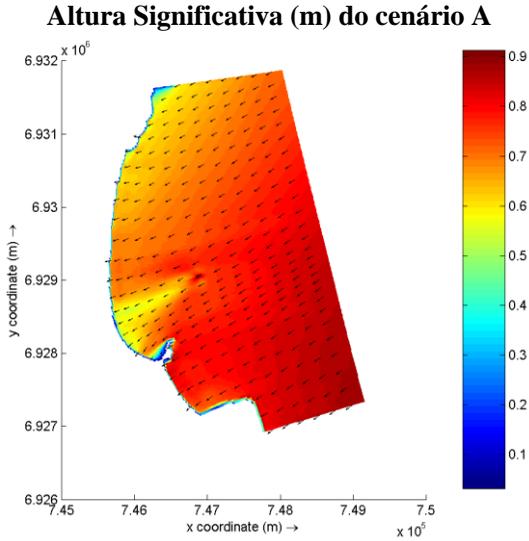
**Anexo B**

## FEMAR Florianópolis (Porto)

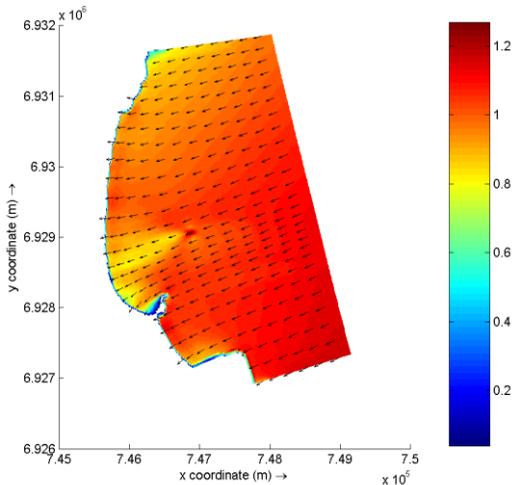
FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

<b>Nome da Estação :</b>		<b>FLORIANÓPOLIS (PORTO) – SC</b>			
<b>Localização :</b>		No trapiche de atracação do antigo prédio de oficinas do DNPVN			
<b>Organ. Responsável :</b>		INPH / DHN			
<b>Latitude :</b>		27° 36,4' S	<b>Longitude :</b>		48° 33,4' W
<b>Período Analisado :</b>		02/01/60 a 21/12/60		<b>Nº de Componentes :</b> 60	
<b>Análise Harmônica :</b>		Método Tidal Liverpool Institute			
<b>Classificação :</b>		Maré de Desigualdades Diurnas			
<b>Estabelecimento do Porto: (HWF&amp;C)</b>		II H 4 min	<b>Nível Médio (Zo):</b>		63 cm acima do NR.
<b>Média das Preamares Superiores (MHHW) :</b>		115 cm acima do NR.	<b>Média das Preamares Inferiores (MLHW) :</b>		96 cm acima do NR
<b>Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :</b>		30 cm acima do NR.	<b>Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :</b>		12 cm acima do NR.
<b>CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS</b>					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	5,2	272	MU <sub>2</sub>	0,4	349
Ssa	17,1	050	N <sub>2</sub>	5,0	152
Mm	2,0	125	NU <sub>2</sub>	0,6	174
Mf	6,7	174	M <sub>2</sub>	25,1	070
MTM	-	-	L <sub>2</sub>	1,3	082
Msf	4,2	270	T <sub>2</sub>	0,8	051
Q <sub>1</sub>	3,6	048	S <sub>2</sub>	17,3	067
O <sub>1</sub>	11,7	077	K <sub>2</sub>	5,5	059
M <sub>1</sub>	0,8	209	MO <sub>3</sub>	3,2	334
P <sub>1</sub>	2,4	128	M <sub>3</sub>	5,0	181
K <sub>1</sub>	6,9	136	MK <sub>3</sub>	1,5	085
J <sub>1</sub>	0,6	186	MN <sub>4</sub>	3,7	056
OO <sub>1</sub>	0,4	060	M <sub>4</sub>	8,7	110
MNS <sub>2</sub>	0,5	091	SN <sub>4</sub>	1,0	195
2N <sub>2</sub>	1,5	135	MS <sub>4</sub>	5,0	218
<b>Referências de Nível:</b> RN fixada em pilar de pedra no gramado à direita de quem entra no prédio da Administração do Porto.					
<b>Obs:</b> Outros Períodos : 01/07/08 a 04/07/09; 02/01/530a 02/02/53; 01/04/91 a 01/05/91 Consta das Tábuas das Marés					

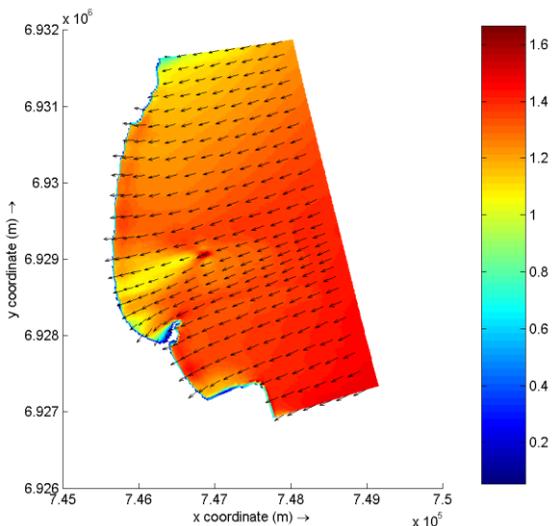
Código BNDO: 60245



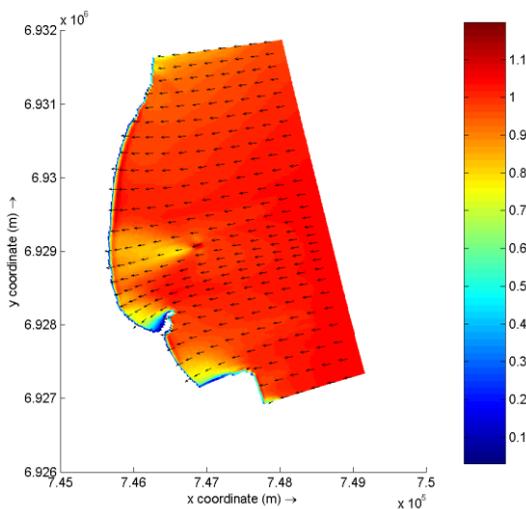
**Figura 110** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 1 de ondas:  $H_s=1,03\text{m}$ ,  $T_p=6,88\text{s}$ ,  $\text{Dir}=47,82^\circ$  para o cenário A.



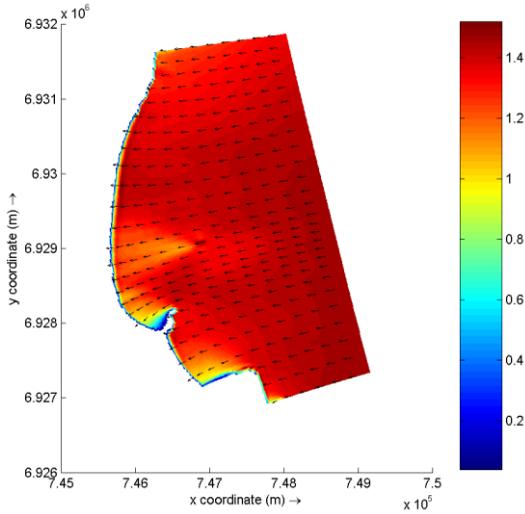
**Figura 111** Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 2 de ondas:  $H_s=1,44\text{m}$ ,  $T_p=7,47\text{s}$ ,  $\text{Dir}=54,33^\circ$  para o cenário A.



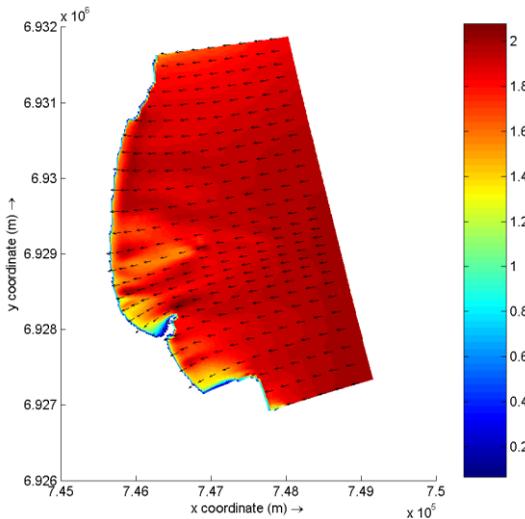
**Figura 112** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 3 de ondas:  $H_s=1,86\text{m}$ ,  $T_p=8,21\text{s}$ ,  $\text{Dir}=55,20^\circ$  para o cenário A.



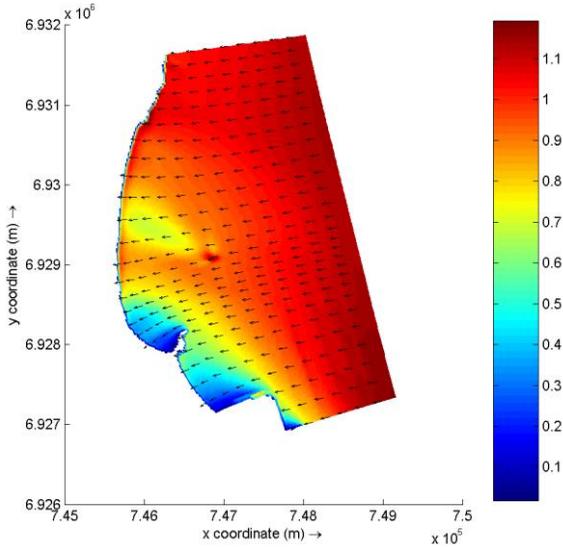
**Figura 113** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 4 de ondas:  $H_s=1,16\text{m}$ ,  $T_p=7,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=79,99^\circ$  para o cenário A.



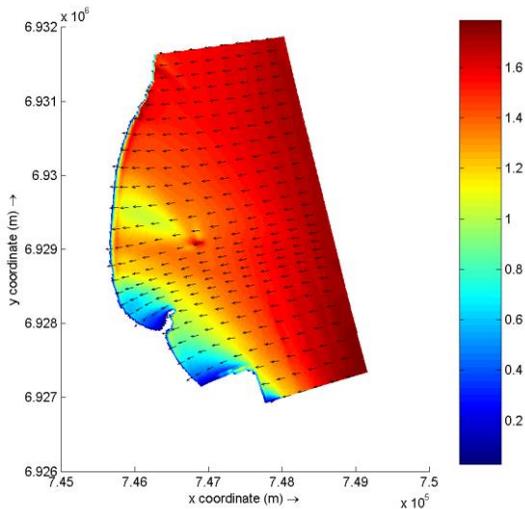
**Figura 114** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 5 de ondas:  $H_s=1,72\text{m}$ ,  $T_p=7,95\text{s}$ ,  $\text{Dir}=83,15^\circ$  para o cenário A.



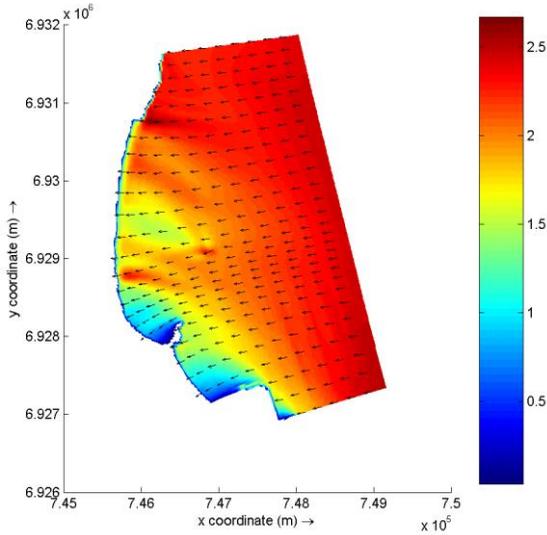
**Figura 115** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 6 de ondas:  $H_s=2,48\text{m}$ ,  $T_p=8,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=85,21^\circ$  para o cenário A.



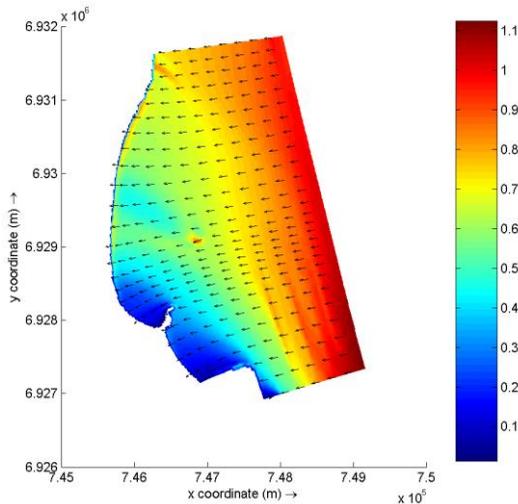
**Figura 116** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 7 de ondas:  $H_s=1,36\text{m}$ ,  $T_p=9,31\text{s}$ ,  $\text{Dir}=143,5^\circ$  para o cenário A.



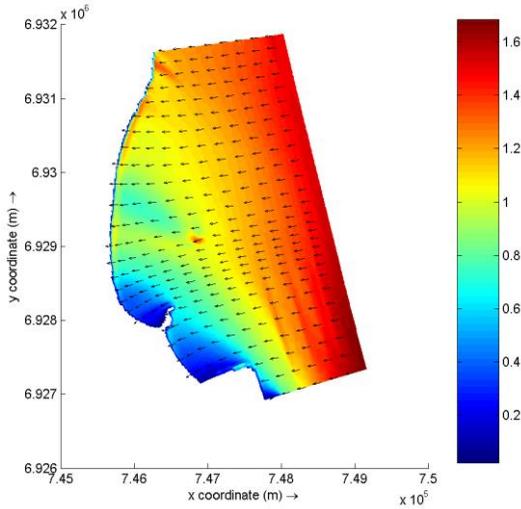
**Figura 117** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 8 de ondas:  $H_s=2,14\text{m}$ ,  $T_p=9,79\text{s}$ ,  $\text{Dir}=146,2^\circ$  para o cenário A.



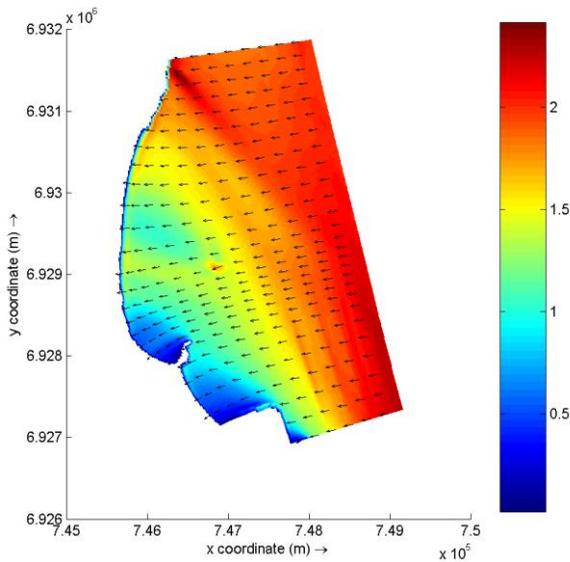
**Figura 118** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 9 de ondas:  $H_s=3,15\text{m}$ ,  $T_p=10,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=147,9^\circ$  para o cenário A.



**Figura 119** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 10 de ondas:  $H_s=1,63\text{m}$ ,  $T_p=10,13\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$  para o cenário A.



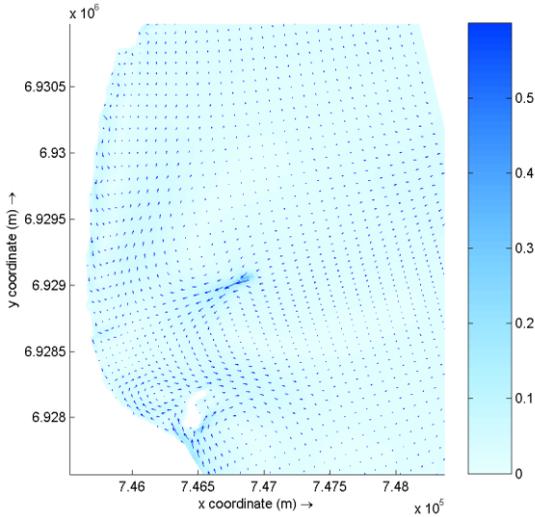
**Figura 120** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 11 de ondas:  $H_s=2,5\text{m}$ ,  $T_p=10,63\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$  para o cenário A.



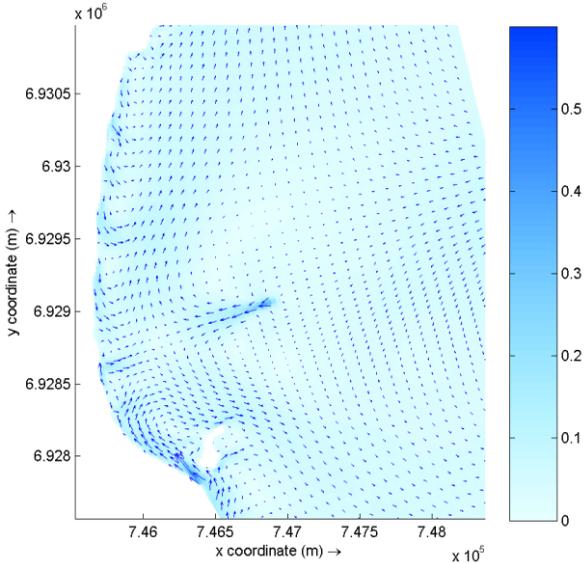
**Figura 121** – Campo de altura significativa em magnitude (m) e direção média (vetores) para o caso 12 de ondas:  $H_s=3,43\text{m}$ ,  $T_p=11,1\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$  para o cenário A.

## Anexo D

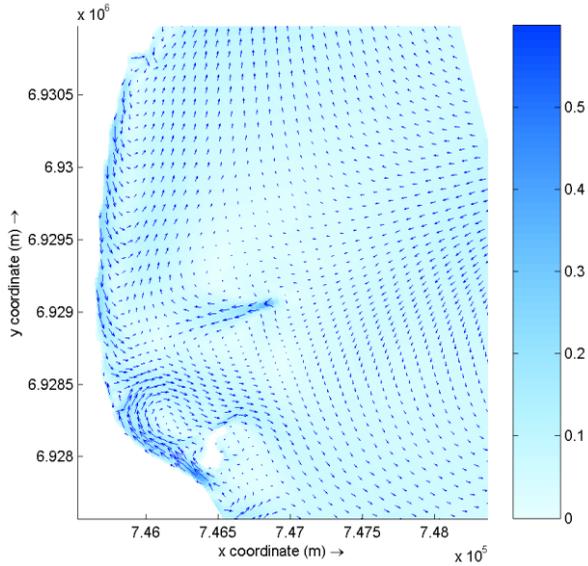
### Campo de correntes para o cenário B



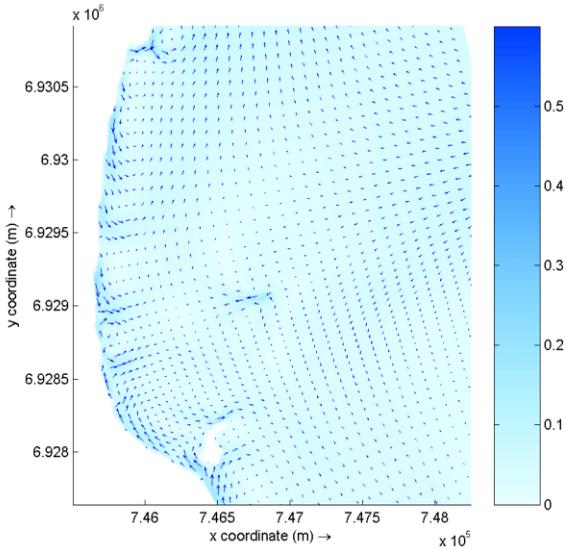
**Figura 122** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 1 de ondas:  $H_s=1,03\text{m}$ ,  $T_p=6,88\text{s}$ ,  $\text{Dir}=47,82^\circ$ .



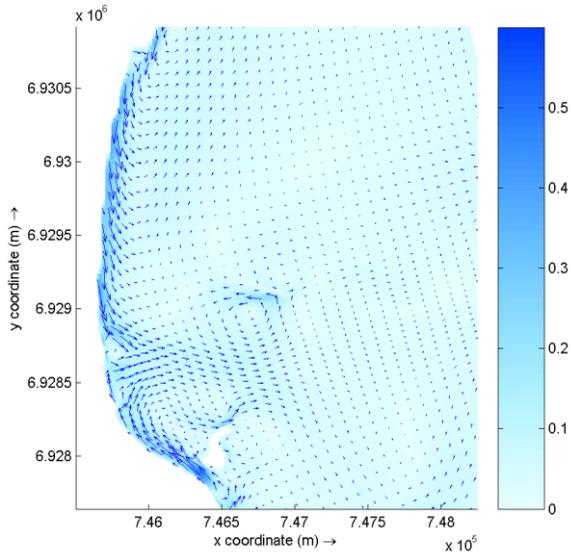
**Figura 123** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 2 de ondas:  $H_s=1,44\text{m}$ ,  $T_p=7,47\text{s}$ ,  $\text{Dir}=54,33^\circ$ .



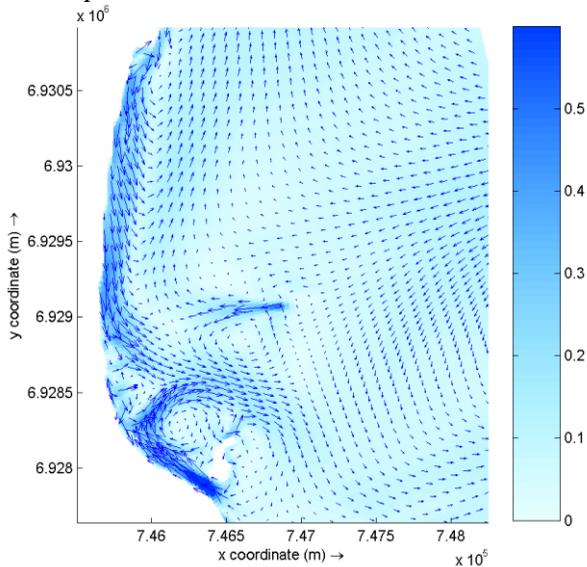
**Figura 124** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 3 de ondas:  $H_s=1,86\text{m}$ ,  $T_p=8,21\text{s}$ ,  $\text{Dir}=55,20^\circ$ .



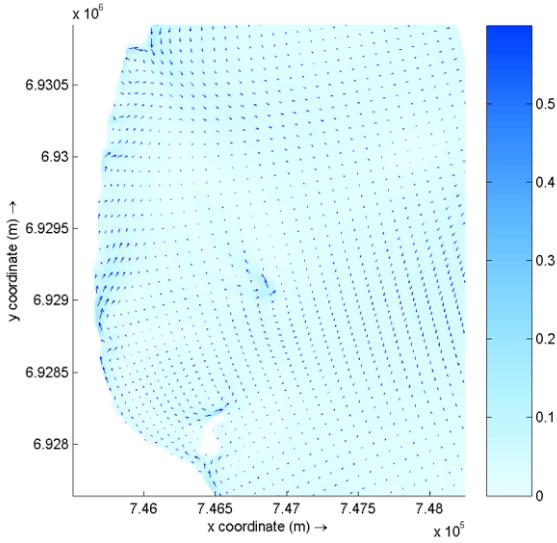
**Figura 125** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 4 de ondas:  $H_s=1,16\text{m}$ ,  $T_p=7,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=79,99^\circ$ .



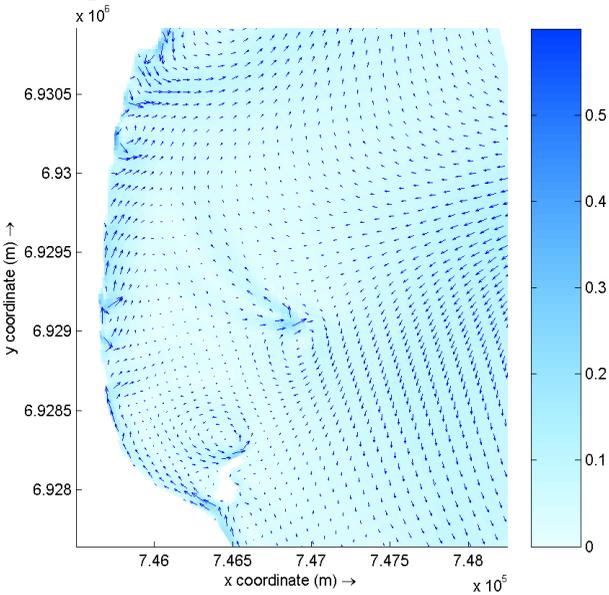
**Figura 126** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 5 de ondas:  $H_s=1,72\text{m}$ ,  $T_p=7,95\text{s}$ ,  $\text{Dir}=83,15^\circ$ .



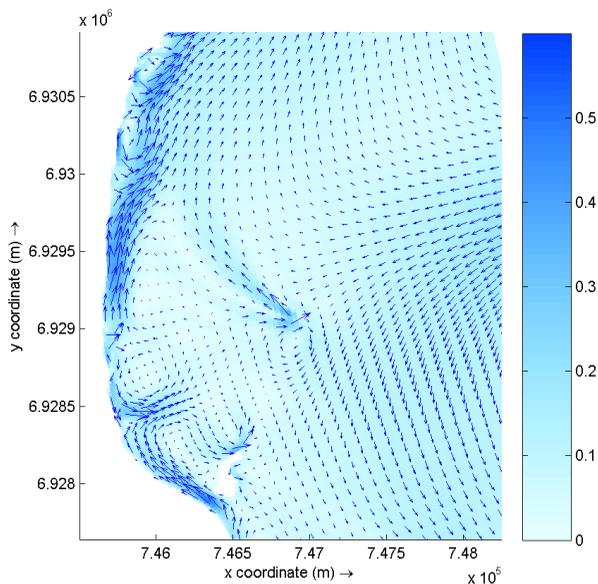
**Figura 127** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 6 de ondas:  $H_s=2,48\text{m}$ ,  $T_p=8,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=85,21^\circ$ .



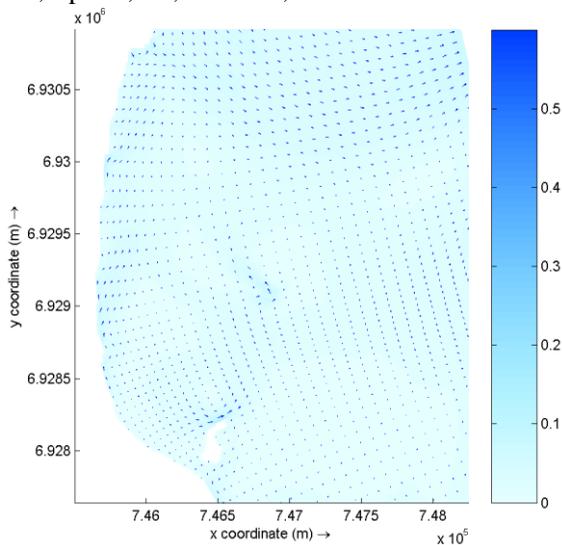
**Figura 128** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 7 de ondas:  $H_s=1,36\text{m}$ ,  $T_p=9,31\text{s}$ ,  $\text{Dir}=143,5^\circ$ .



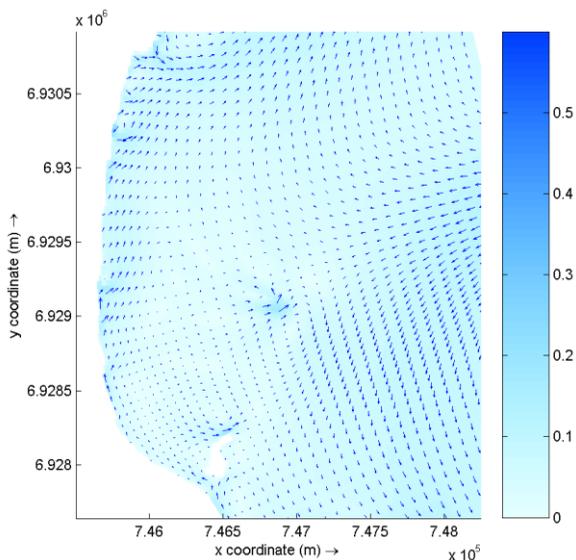
**Figura 129** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 8 de ondas:  $H_s=2,14\text{m}$ ,  $T_p=9,79\text{s}$ ,  $\text{Dir}=146,2^\circ$ .



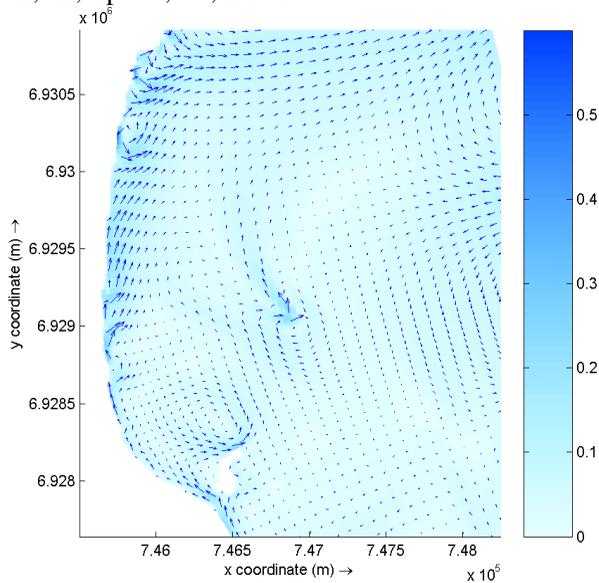
**Figura 130** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 9 de ondas:  $H_s=3,15\text{m}$ ,  $T_p=10,55\text{s}$ ,  $\text{Dir}=147,9^\circ$ .



**Figura 131** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 10 de ondas:  $H_s=1,63\text{m}$ ,  $T_p=10,13\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$ .



**Figura 132** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 11 de ondas:  $H_s=2,5\text{m}$ ,  $T_p=10,63\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$ .



**Figura 133** – Campo de correntes (velocidade média em m/s) para o caso 12 de ondas:  $H_s=3,43\text{m}$ ,  $T_p=11,1\text{s}$ ,  $\text{Dir}=180^\circ$ .