

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE GEOLOGIA MARINHA**

**BALANÇO DE SEDIMENTOS ARENOSOS DA  
ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ-SC**

**JOÃO THADEU DE MENEZES**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Elírio E. Toldo Jr.**

**BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein – CTTMar/UNIVALI**

**Prof. Dr. Federico Ignacio Isla – UNMDP (Argentina)**

**Prof. Dr. Luiz Emilio Sá Brito de Almeida – IPH/UFRGS**

**Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do  
Título de Doutor em Ciências**

**2008**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**BALANÇO DE SEDIMENTOS ARENOSOS DA  
ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ-SC**

**JOÃO THADEU DE MENEZES**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Elírio E. Toldo Jr.**

**BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein – CTTMar/UNIVALI**

**Prof. Dr. Federico Ignacio Isla – UNMDP (Argentina)**

**Prof. Dr. Luiz Emilio Sá Brito de Almeida – IPH/UFRGS**

**Tese de Doutorado apresentada como  
requisito parcial para obtenção do  
Título de Doutor em Ciências.**

**Porto Alegre – 2008**

Menezes, João Thadeu de

Balanço de sedimentos arenosos da enseada de  
Balneário Camboriú-SC. / João Thadeu de Menezes. – Porto  
Alegre : IGEO/UFRGS, 2008.

[167 f.]. il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-  
Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 2008.

1. Geologia Marinha. 2. Balanço de Sedimentos. 3.  
Praias de Enseada. I. Título.

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca do Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun CRB 10/1113

**Aos meus pais Airton de Menezes e  
Helena Dóris Pinto da Luz de Menezes**

**À Thelma, a esposa amada**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Energia Maior que nos possibilita tudo em nossa estadia neste plano inferior.

Ao meu orientador Prof. Dr. Elírio E. Toldo Jr, agradeço as longas conversas para a definição do tema, as palavras de incentivo durante os momentos de desânimo e as horas de orientação e revisão final deste trabalho.

Faço um agradecimento especial aos alunos de graduação do curso de oceanografia da UNIVALI, hoje oceanógrafos, que me auxiliaram na coleta e tratamento de centenas de perfis de praia e antepraia, amostras de sedimento e dados que foram muito importantes no desenvolvimento e conclusão deste trabalho, entre eles agradeço especialmente a Mônia, Cassiano, Michele, Biston, André e Lino.

Aos alunos da Universidade de Tecnologia de Delft Bruijn, Jager, Langedijk e Perk pelo trabalho desenvolvido na UNIVALI e nossas conversas e discussões que contribuíram nos resultados deste trabalho.

Aos Amigos Antonio Klein, José Gustavo, Maria Inês, Fernando Diehl e Rafael Sperb por sempre terem me apoiado durante todos estes anos e possibilitarem a realização deste sonho, seja na ajuda da coleta, tratamento e discussão de resultados de trabalhos sempre realizados em equipe, ou simplesmente uma conversa para desestressar.

Ao Sr. Gentil, Marquinhos pelas incansáveis horas de campo e laboratório para coleta e tratamento de perfis e amostras de sedimento. Ao Fabrício pela força na impressão deste.

À Fundação Banco do Brasil por financiar parte da coleta dos dados e a UNIVALI que forneceu toda infra-estrutura para o desenvolvimento deste trabalho. À CAPES, por 9 meses de Bolsa PQD no início desta jornada.

Ao contribuinte anônimo, ou seja, todos aqueles que voluntariamente ou involuntariamente tenham contribuído para este trabalho, mas que não estejam aqui listados meu muito obrigado.

Finalmente, gostaria de dedicar esta tese a algumas pessoas que acreditaram e me possibilitaram terminar esta jornada. Inicialmente um agradecimento especial aos meus pais Airton e Helena Dóris, e minha avó Mary que me permitiram o sonho de ser Oceanógrafo. Ao amigo Klein que na graduação e o mestrado, me orientou e acreditou no meu potencial, me possibilitando meu primeiro emprego como professor e fazer parte do grupo de Oceanografia Geológica da UNIVALI. Ao amigo Elírio que durante o doutorado sempre me orientou e aconselhou para que pudesse chegar até aqui. Finalmente, gostaria de agradecer a Thelma minha esposa pela compreensão, paciência e ajuda durante toda esta jornada.

## RESUMO

O objetivo principal deste estudo é a análise do balanço de sedimentos arenosos na enseada de Balneário Camboriú, localizada no litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina. Para alcançar os objetivos deste trabalho a enseada foi compartimentada em células e utilizadas diferentes metodologias que envolveram a análise de diversos parâmetros, tais como: sedimentologia e morfologia da praia e antepraia; estabilidade da praia em planta e perfil; perfil de equilíbrio da enseada; transporte de sedimentos por ondas e correntes e perda de sedimentos para fora da praia através dos banhistas. A praia de Balneário Camboriú é composta de areia fina a muito fina, de composição quartzosa, bem a moderadamente classificados. A distribuição das fácies sedimentares da enseada de Balneário Camboriú demonstra a inexistência de trocas de sedimentos arenosos da praia com a região da antepraia, sendo esta dominada principalmente por sedimentos finos (silte e argila). A estabilidade da praia em planta encontra-se em equilíbrio dinâmico na porção norte e sul da enseada. A morfologia praias em valores de variação de volume e largura demonstrou que os perfis localizados na porção norte, que corresponde a região mais exposta da praia, apresentam maiores variações do que os demais perfis localizados nas porções mais protegidas. Verificou-se um processo de rotação praias entre os perfis, havendo acreção em alguns enquanto ocorre erosão em outros, mostrando uma troca de sedimentos entre eles. O volume de sedimentos ganho pela praia entre 1994 e 2005 foi de aproximadamente 49.000 m<sup>3</sup> que foram adicionados artificialmente por uma obra de alimentação executada pela prefeitura municipal. A profundidade de fechamento apresenta um comportamento gradacional, com diminuição dos valores de norte para o sul da enseada, em acordo com os padrões de distribuição do fluxo de energia das ondas e correntes. Os valores definidos para a profundidade de fechamento variam entre 4 m e 1,7 m. Este limite de profundidade é também demonstrado na variação faciológica entre a praia e antepraia. Os cenários de refração, difração de ondas e transporte de sedimentos associado demonstrou que a praia se comporta como uma célula fechada, não havendo troca significativa de sedimentos entre esta e a região de antepraia. Portanto, gerando um balanço arenoso nulo entre estes dois ambientes. Verificou-se, que o volume sedimentar removido da praia pelos banhistas não causou grande impacto no balanço de sedimentos durante o período amostral. Por outro lado, sugere-se que em longo prazo, esta retirada de areia possa representar um déficit mais significativo, da ordem de 970m<sup>3</sup>. O cálculo do balanço de sedimentos arenosos para a praia e enseada de Balneário Camboriú apresentou um valor negativo de 152 m<sup>3</sup>/ano. Este valor pode ser considerado mínimo quando comparado ao

volume total de sedimentos da praia, e corresponde a metade do valor calculado para a perda anual de sedimentos causadas pelos banhistas. Com isso pode-se concluir que a enseada de Balneário Camboriú está em equilíbrio quanto ao balanço sedimentar, sem perdas e ganhos de sedimentos consideráveis.

Palavras Chave: Geologia Marinha; Balanço de Sedimentos; Praias de Enseada.

.

## ABSTRACT

The overall goal of this study is the sandy sediment budget analysis in the Balneário Camboriú bay, located in central-northern coast of Santa Catarina State. To achieve the objectives of this work the bay was compartments in cells and used different methodologies that involved the analysis of various parameters such as: the beach and bay sedimentology and morphology; planform and profile beach stability; equilibrium beach profile; sediment transport by waves and currents and loss of sediment through the beach users. The Balneário Camboriú beach is composed of the fine and very fine sand, quartz and to moderately classified. The sedimentary facies distribution shows there are no exchanges of sediment from the sandy beach with the bay, dominated mainly by fine-grained sediments (silt and clay). The planform beach stability is in dynamic equilibrium in the north and south beach portion. The beach morphology change in volume and width values showed that the profiles located in the northern portion, more exposed to the beach, have more variations than the other profiles located in portions more protected. There was a process of beach rotation between the profiles, there was accretion in some profiles and erosion in others, showing an exchange of sediment between them. The sediment volume gain the beach between 1994 and 2005 was approximately  $49,000 \text{ m}^3$  which were artificially added to the beach for nourishment implemented by Municipality. The depth of closure presents a gradational behavior, with declining values of north to the south of the bay, in accordance with the waves and currents flow of energy distribution patterns. The values defined for the depth of closure ranging from 4 m to 1.7 m. This limit of depth is also shown in facies variation between the beach and shoreface. The waves refraction and diffraction scenarios and sediment transport showed that the beach is behaving like a closed cell, with no exchange between beach and shoreface. Therefore, generating a null balance between these two sandy environments. It was found that the sediment volume removed by users beach causes no major impact on the coastal sediment sampling during the period (summer 2003/2004). Moreover, it is suggested that a long-term Balneário Camboriú, the sand removal could present a more significant deficit in the coastal sediment, as this beach is mostly populated flow in twenty years where the sediment volume would be withdrawn from  $970 \text{ m}^3$ . The beach and shoreface Balneário Camboriú sandy sediment balance calculation presented a negative value of  $152 \text{ m}^3/\text{year}$ . This quantities can be considered minimal when compared to the total sediment volume from the beach. The estimated value is half the value calculated for the loss of sediment removed by users. This can be concluded that the inlet of Balneário Camboriú bay is totally balanced on the sediment, with

no considerable sediment losses and gains.

**Key words:** Marine Geology; Sediment Budget; Pocket Beaches.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1** - ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UM CICLO FECHADO (RETROALIMENTADO) QUE DEMONSTRA A INTERAÇÃO ENTRE ONDAS INCIDENTES, O TRANSPORTE DE SEDIMENTOS E A MORFOLOGIA DA PRAIA (WRIGHT & THOM, 1977). 2
- FIGURA 2** - DIVISÃO DAS ESCALAS TEMPORAL E ESPACIAL NA EVOLUÇÃO COSTEIRA (COWELL *ET AL.*, 1995). 3
- FIGURA 3** - FIGURA ILUSTRATIVA DA ZONAÇÃO MORFOLÓGICA E HIDRODINÂMICA DE UMA PRAIA ARENOSA OCEÂNICA (MODIFICADO DE HOEFEL, 1988). 4
- FIGURA 4** - FORMA DAS PRAIAS DE ENSEADA, MOSTRANDO A LINHA DE CONTROLE DA FORMA DA ENSEADA, A ZONA DE SOMBRA DO PROMONTÓRIO E A SEÇÃO RETILÍNEA DA PRAIA. 6
- FIGURA 5** - MANUTENÇÃO DO PERFIL EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR (A) CAUSANDO A TRANSLAÇÃO DA PRAIA (S), ONDE D É A PROFUNDIDADE E I A DISTÂNCIA DO PERFIL À PRAIA, MODIFICADO DE BRUNN (1954). 7
- FIGURA 6** - GRÁFICO DEMONSTRANDO O AUMENTO DO PARÂMETRO A COMO UMA FUNÇÃO DO AUMENTO DO TAMANHO DO SEDIMENTO (MM) E DA VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO (CM/S), SEGUNDO MOORE (1982). 9
- FIGURA 7** - MODELO EM PLANTA DE PRAIAS COM PRESENÇA DE OBSTÁCULOS, ONDE  $\beta$  E  $\theta$  SÃO ÂNGULOS ENTRE A LINHA DA CRISTA DE ONDA E A LINHA DA ONDA DIFRATADA E R CORRESPONDE A LINHA CENTRAL DA PRAIA ATÉ O PONTO DE DIFRAÇÃO DA ONDA, SEGUNDO HSU & EVANS (1989). 12
- FIGURA 8** - MODELO EM PLANTA COM REFRAÇÃO, DIFRAÇÃO E DISSIPAÇÃO DE ONDAS, SEGUNDO RODRÍGUEZ (1995). 15
- FIGURA 9** - ESQUEMA PARA MOVIMENTO DE AREIA EM UMA CÉLULA DO AMBIENTE PRAIAL (KURIYAMA, 2003). 20
- FIGURA 10** - PARÂMETROS DE CONTROLE DO BALANÇO DE SEDIMENTOS, CONFORME EQUAÇÃO 20, ONDE TLC EQUIVALE AO TRANSPORTE AO LONGO DA COSTA. 21
- FIGURA 11** - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. 24
- FIGURA 12** - COMPARTIMENTOS COSTEIROS OU CÉLULAS COSTEIRAS QUE SERVEM COMO LIMITES FÍSICOS PARA O ESTUDO DO BALANÇO SEDIMENTAR DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ. 25
- FIGURA 13** - MAPA GEOLÓGICO PARA O MUNICÍPIO DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ (PETERMANN, 2005). 27
- FIGURA 14** - CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA NO SUL DO BRASIL E SUA ALTERAÇÃO DEVIDO À ENTRADA DE FRENTE FRIAS: (A) SITUAÇÃO NORMAL; (B) GERAÇÃO DA FRENTE FRIA; (C) INVASÃO DA FRENTE FRIA; (D) CICLOGÊNESE DA FRENTE FRIA. A – ALTA PRESSÃO, B – BAIXA PRESSÃO (DHN, 1994 APUD TRUCCOLO, 1998) 28
- FIGURA 15** - DISTRIBUIÇÃO SAZONAL DAS ALTURAS SIGNIFICATIVAS DE ONDAS (ARAÚJO *ET. AL.*, 2003). 29
- FIGURA 16** - DRAGA PARA EXTRAÇÃO DE AREIA NO RIO CAMBORIÚ (SIEGLE, 1999). 32
- FIGURA 17** - FOTOS DA ALIMENTAÇÃO REALIZADA PELA PREFEITURA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ NO ANO DE 2002 (FOTOS: GLAUCIO VINTEM). 33
- FIGURA 18** - CONSTRUÇÃO DO MOLHE NO SUL DA ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ EM MAIO E JUNHO DE 2004 RESPECTIVAMENTE. 34
- FIGURA 19** - FOTOGRAFIAS MOSTRANDO OS BIVALVOS, BRIOZOÁRIOS E SERRAPILHEIRA ARRIBADOS À PRAIA (FOTOS: CONEVILLE). 35

<i>FIGURA 20</i> - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE COLETA DOS SEDIMENTOS NA PRAIA (1994 E 2006) E ENSEADA (2002 E 2006) DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	37
<i>FIGURA 21</i> - FÁCIES SEDIMENTARES DA PLATAFORMA INTERNA ADJACENTE A PRAIA CENTRAL DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ PARA OS ANOS DE 2002 (ESQ.) E 2006 (DIR.).	41
<i>FIGURA 22</i> - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS DE FUNDO, ATRAVÉS DO DIAGRAMA DE PEJURP PARA A ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	42
<i>FIGURA 23</i> - VARIAÇÃO DA PORCENTAGEM DE SILTE PARA OS ANOS DE 2002 (ESQ.) E 2006 (DIR.) NA ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	43
<i>FIGURA 24</i> - PROGRAMA MEPBAY APLICADO A PRAIA DE TAQUARAS/TAQUARINHAS EM SANTA CATARINA.	46
<i>FIGURA 25</i> - LOCALIZAÇÃO DOS 15 PERFIS PRAIAS UTILIZADOS PARA O MONITORAMENTO DA MORFOLOGIA PRAIAL.	47
<i>FIGURA 26</i> - FOTOS QUE ILUSTRAM O DESENVOLVIMENTO DO LEVANTAMENTO DO PERFIL PRAIAL (FOTOS: GLAUCIO VINTEM).	48
<i>FIGURA 27</i> - DESENHO ESQUEMÁTICO DO PERFIL PRAIAL (MODIFICADO DE TEMME (1996) E TEMME <i>ET AL.</i> (1997)).	48
<i>FIGURA 28</i> - FORMA EM PLANTA DA PRAIA E A LINHA PREDITA EM EQUILÍBRIO ESTÁTICO (LINHA AZUL), PELO EMPREGO DO MODELO MEPBAY.	50
<i>FIGURA 29</i> - FORMA EM PLANTA DA PRAIA, A LINHA PREDITA EM EQUILÍBRIO ESTÁTICO ANTES (LINHA CONTÍNUA) E APÓS A CONSTRUÇÃO DO MOLHE (LINHA PONTILHADA).	52
<i>FIGURA 30</i> - VARIAÇÕES DE VOLUME OBSERVADOS NOS PERFIS PRAIAIS DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ NOS PERÍODOS DE JAN/94 A FEV/96 E JUL/04 A MAI/05.	56
<i>FIGURA 31</i> - VARIAÇÕES DE LARGURA OBSERVADOS NOS PERFIS PRAIAIS DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ NOS PERÍODOS DE JAN/94 A FEV/96 E JUL/04 A MAI/05.	57
<i>FIGURA 32</i> - PERFIS BATIMÉTRICOS OBTIDOS PARA A ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	63
<i>FIGURA 33</i> - IDENTIFICAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO DO PERFIL PRAIAL ATRAVÉS DA QUEBRA NA DECLIVIDADE DO PERFIL.	64
<i>FIGURA 34</i> - METODOLOGIA EMPREGADA NA OBTENÇÃO DOS $K_R$ PARA CADA UM DOS PERFIS	65
<i>FIGURA 35</i> - VARIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO NOS 15 PERFIS ANALISADOS PARA BALNEÁRIO CAMBORIÚ (SC).	68
<i>FIGURA 36</i> - VARIAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DA GRANULOMETRIA DOS 15 PERFIS DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE A, CONSIDERANDO A LIVRE NO MODELO DE PERFIL DE EQUILÍBRIO.	69
<i>FIGURA 37</i> - VARIAÇÃO DO COEFICIENTE M AO LONGO DA ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	71
<i>FIGURA 38</i> - BATIMETRIA PARA A ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ (INPH, 2000).	75
<i>FIGURA 39</i> - PROPAGAÇÃO DA ALTURA DA ONDA NA ENSEADA, SIMULADAS POR ONDULAÇÕES PROVENIENTES DE NE (DIR = 45°), ALTURA DE 1,25 M E PERÍODO DE 8 S.	81
<i>FIGURA 40</i> - VETORES DE CORRENTES GERADOS POR ONDAS PROVENIENTES DE NE (DIR = 45°), ALTURA DE 1,25 M E PERÍODO DE 8 S NA ENSEADA.	82
<i>FIGURA 41</i> - TRANSPORTE DE SEDIMENTOS POR ONDULAÇÕES DE NE (DIR = 45°), ALTURA DE 1,25 M E PERÍODO DE 8 S.	83
<i>FIGURA 42</i> - PROPAGAÇÃO DA ALTURA DA ONDA, SIMULADAS POR ONDULAÇÕES DE E (DIR = 90°), ALTURA DE 1,25 M E PERÍODO DE 8 S.	84
<i>FIGURA 43</i> - CORRENTES GERADAS NA ENSEADA POR ONDAS DE E (DIR = 90°), ALTURA 1,25M E PERÍODO DE 8S.	85

<i>FIGURA 44</i> - TRANSPORTE DE SEDIMENTOS GERADO POR ONDULAÇÕES DE E (DIR = 90°), ALTURA DE 1,25M E PERÍODO DE 8S.	85
<i>FIGURA 45</i> - PROPAGAÇÃO DA ALTURA DA ONDA, SIMULADAS POR ONDULAÇÕES DE SE (DIR = 135°), ALTURA DE 1,65 M E PERÍODO DE 14 S.	86
<i>FIGURA 46</i> - CORRENTES GERADAS POR ONDAS PROVENIENTES DE SE (135°), ALTURA 1,65 M E PERÍODO DE 14 S NA ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	87
<i>FIGURA 47</i> - TRANSPORTE DE SEDIMENTOS GERADO POR ONDAS PROVENIENTES DE SE (135°), ALTURA 1,65M E PERÍODO DE 14S NA ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	87
<i>FIGURA 48</i> - PROPAGAÇÃO DA ALTURA DA ONDA, SIMULADA POR ONDULAÇÕES PROVENIENTES DE E (90°), ALTURA DE 3,5M E PERÍODO DE 9S.	88
<i>FIGURA 49</i> - CORRENTES GERADAS POR ONDAS PROVENIENTES DE E (90°), ALTURA 3,5M E PERÍODO DE 9S NA ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	89
<i>FIGURA 50</i> - TRANSPORTE DE SEDIMENTOS GERADO POR ONDAS PROVENIENTES DE E (90°), ALTURA 3,5M E PERÍODO DE 9S NA ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	89
<i>FIGURA 51</i> - PERMANÊNCIA DAS PESSOAS NA PRAIA CENTRAL DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ AO LONGO DO DIA (POLETTE & RAUCCI, 2000).	92
<i>FIGURA 52</i> - REGIÕES COM DIFERENTES ADENSAMENTOS DE BANHISTAS NA PRAIA (M <sup>2</sup> /BANHISTA).	93
<i>FIGURA 53</i> - VARIAÇÃO DO FLUXO DE PESSOAS NA PRAIA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ COM INCREMENTO PERCENTUAL POPULACIONAL DE APROXIMADAMENTE 56% AO FIM DO DIA (POLETTE & RAUCCI, 2000).	94
<i>FIGURA 54</i> - AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS ADERIDOS À SUPERFÍCIE CORPÓREA E OBJETOS.	94
<i>FIGURA 55</i> - PRAIA CENTRAL DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ E SUAS REGIÕES DE ADENSAMENTO POPULACIONAL.	96
<i>FIGURA 56</i> - RELAÇÃO ENTRE A QUANTIDADE DE SEDIMENTO RETIRADO EM FUNÇÃO DA ÁREA SUPERFICIAL CORPÓREA DAS PESSOAS.	97
<i>FIGURA 57</i> - MASSA MÉDIA E REPRESENTATIVIDADE PERCENTUAL DA QUANTIDADE DE AREIA RETIRADA, POR CADA OBJETO, NA PRAIA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	98
<i>FIGURA 58</i> - FOTOGRAFIA DA DÉCADA DE 70, MOSTRANDO AS LAGUNAS COSTEIRAS E SUA DESEMBOCADURA, ATUAL CANAL DO MARAMBAIA (ARQUIVO LPPC - UNIVALI).	102
<i>FIGURA 59</i> - BALANÇO SEDIMENTAR PARA A ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	105

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1.	BALANÇO SEDIMENTAR LITORÂNEO (BOWEN & ILMAN, 1966).	19
TABELA 2.	VALORES ESPECTRAIS DE ONDAS. HS – ALTURA SIGNIFICATIVA (M) , TP – PERÍODO DE PICO (S), $\Theta$ – DIREÇÃO DE PROVENIÊNCIA, % - PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA (ARAÚJO <i>ET. AL.</i> 2003).	30
TABELA 3.	DADOS SEDIMENTOLÓGICOS DAS AMOSTRAS COLETADAS NA PRAIA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ EM 1994 E 2006.	39
TABELA 4.	VALORES DE VOLUMES ( $V = M^3/M.$ ), LARGURAS ( $L = M$ ) MÁXIMOS (MÁX), MÍNIMOS (MÍN) E MÉDIOS, PARA OS PERFIS PRAIAIS EM LEVANTAMENTOS NOS DOIS PERÍODOS; 1994-1996 (ACIMA), E 2004-2005 (ABAIXO).	53
TABELA 5.	VARIAÇÕES LÍQUIDAS DE VOLUME ( $M^3/M$ ), PARA CADA PERFIL, CORRESPONDENTE AOS SEGUINTE PERÍODOS: 1994-1995, 1995-1996 E 2004-2005.	58
TABELA 6.	DIFERENÇAS DE VOLUME E LARGURA DOS PERFIS ENTRE JANEIRO DE 1994 E AGOSTO DE 2005.	58
TABELA 7.	VALORES DE $A (M^{1/3})$ PROPOSTOS DE ACORDO COM O TAMANHO DE GRÃO ( $D_{MM}$ ), SEGUNDO DEAN (2002).	66
TABELA 8.	VALORES MÉDIOS DA PROFUNDIDADE DE FECHAMENTO (M), TAMANHO DO GRÃO (MM) E COEFICIENTES ENCONTRADOS PARA OS 15 PERFIS DA ÁREA DE ESTUDO.	67
TABELA 9.	VALORES DE PORCENTAGEM, GRAMAS POR PESSOA E PESO TOTAL DE SEDIMENTOS RETIRADOS PELOS BANHISTAS DA PRAIA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ.	97
TABELA 10.	VALORES DE VOLUME DE SEDIMENTOS E VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA CAUSADA PELA RETIRADA DOS SEDIMENTOS PELOS BANHISTAS EM UMA PREVISÃO PARA 50 ANOS.	99
TABELA 11.	VALORES DE BALANÇO DE SEDIMENTOS ARENOSOS, POSITIVOS (VERDE) E NEGATIVOS (VERMELHO) ENTRE OS COMPARTIMENTOS COSTEIROS NA ENSEADA DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ POR ( $M^3/ANO$ ).	104

## LISTA DE SÍMBOLOS

a – variação do nível do mar.

A - parâmetro empírico que depende das propriedades texturais dos sedimentos.

$A_p$  - parâmetro empírico, sendo calculado através do coeficiente de refração da onda.

B - altura do berma.

BSA – área superficial corpórea do indivíduo.

$\beta$  - ângulo de obliquidade da onda da referência.

C0, C1 e C2 (coeficientes de transporte).

$C_g$  - celeridade.

de - profundidade de fechamento externa.

di - profundidade de fechamento interna.

Dir – direção dominante de onda;

$d_{50}$  – mediana.

$\Delta Q$  - variação da linha de costa.

$\Delta V$  - mudança de volume geral da célula.

D - altura do pacote sedimentar transportado

$\epsilon'$  - coeficiente de difusão.

h, d - profundidade.

H - altura da onda.

$h^*$  - profundidade de fechamento.

$H_b$  – altura de arrebentação da onda.

$H_s$  – altura significativa de onda.

$H_t$  – altura do indivíduo.

$k^*$  - constante de calibração da fórmula do USACE.

$k_r$  - coeficiente de refração da onda.

L – Largura do perfil praiado ativo.

$L_0$  - distância entre concentração ou expansão de energia.

$L(x)$  - variação da distância de reflexão.

$m$  - dissipação da energia da onda por unidade de volume da água.

$P$  - volume de sedimento colocado na célula.

$Q, q$  - representa fontes ou sumidouros de sedimento.

$R$  - volume de sedimento retirado da célula.

$r$  - distância do promontório a praia no perfil de interesse.

$\rho$  - porosidade do sedimento.

$s$  - translação da praia.

$s$  - densidade relativa

$SI$  - taxa de transporte longitudinal.

$t$  - tempo.

$T_p$  - período de pico de onda.

$ws$  - velocidade de sedimentação.

$x, I$  - distância da linha de costa.

$\gamma$  - índice de quebra.

$Y$  - raio entre a altura da onda e a profundidade de quebra.

$\tau$  - tensão de cisalhamento.

$V$  - volume.

$W$  - distância da linha à profundidade de fechamento.

$W_t$  - peso do indivíduo.

$\theta$  - direção de proveniência da onda.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>xiv</b>
<b>SUMÁRIO</b>	<b>xvi</b>
<b>Capítulo 1 - Introdução</b>	<b>1</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>3</b>
1.2.1 Considerações Sobre Praias Arenosas Oceânicas	3
1.2.2 Praias de Enseada	5
1.2.3 Perfil Praial de Equilíbrio	6
1.2.4 Estabilidade das Praias em Planta	9
1.2.4.1 Equação Logarítmica Espiral	10
1.2.4.2 Equação de Forma Tangente-Hiperbólica	10
1.2.4.3 Equação da Forma de Enseadas Parabólicas	11
1.2.5 Sedimentos nas Praias Arenosas Oceânicas	17
1.2.6 Transporte de Sedimentos	18
1.2.7 Trocas de Sedimentos no Prisma Praial	18
1.2.8 Balanço de Sedimentos	18
<b>1.3. HIPÓTESES DE ESTUDO</b>	<b>21</b>
<b>1.4 OBJETIVOS</b>	<b>22</b>
1.4.1 Objetivo Geral	22
1.4.2 Objetivos Específicos	22
<b>1.5 Estrutura da Tese</b>	<b>23</b>
<b>1.6 ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>23</b>
1.6.1 Localização Geográfica	23
1.6.2. Limites Físicos da Área de Estudo	24
1.6.3 Zona Costeira de Santa Catarina	26
1.6.3.1 Geologia e Geomorfologia	26
1.6.3.2 Clima	26
1.6.3.3 Clima de Marés e Ondas	28
1.6.3.4 Plataforma Continental Interna	31
1.6.3.5 Rio Camboriú	32
1.6.3.6 Alimentação Artificial e Construção do Molhe	32
<b>Capítulo 2 – Sedimentologia</b>	<b>36</b>
<b>2.1 Introdução</b>	<b>36</b>
<b>2.2 Materiais e Métodos</b>	<b>36</b>
2.2.1 Praia	36
2.2.2 Antepraia	36
2.2.3 Análises Laboratoriais e Estatísticas	37
<b>2.3 Resultados e Discussão</b>	<b>38</b>
2.3.1 Sedimentologia da Praia	38
2.3.2 Sedimentologia da Antepraia	40
<b>2.4 Conclusões</b>	<b>43</b>
<b>Capítulo 3 - Morfologia</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Introdução</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Material e Métodos</b>	<b>45</b>

3.2.1 Praia em Planta	45
3.2.2 Praia em Perfil	47
3.2.2.1 Perfis da Praia	47
<b>3.3 Resultados e Discussão</b>	<b>49</b>
3.3.1 Morfologia da Praia em Planta	49
3.3.1.1 Situação Antes da Construção do Molhe	49
3.3.1.2 Situação Após a Construção do Molhe	51
3.3.2 Morfologia da Praia em Perfil	52
<b>3.4 Conclusões</b>	<b>59</b>
<b>Capítulo 4 – Perfil de Equilíbrio Praia</b>	<b>61</b>
<b>4.1 Introdução</b>	<b>61</b>
<b>4.2 Material e Métodos</b>	<b>62</b>
4.2.1 Perfis da Antepraia	62
4.2.2 Profundidade de Fechamento	63
4.2.3 Perfil de Equilíbrio	64
4.2.3.1 Modelo de Dean (1977)	64
4.2.3.2 Modelo de Rodríguez (1995)	64
4.2.4 Parâmetro $A$ , $m$ e Dados Sedimentológicos	66
4.2.5 Comparação do Perfil Natural com os Perfis Calculados pelos Modelos	66
<b>4.3 Resultados e Discussão</b>	<b>67</b>
4.3.1 Profundidade de Fechamento	67
4.3.2 Valores de $A$ , $A_p$ e Granulometria	69
4.3.3 Valores de $m$ e Declividade da Antepraia	70
<b>4.4 Conclusões</b>	<b>71</b>
<b>Capítulo 5 - Transporte de Sedimentos</b>	<b>73</b>
<b>5.1 Introdução</b>	<b>73</b>
<b>5.2 Materiais e Métodos</b>	<b>74</b>
5.2.1 Dados de Ondas e Batimétricos	74
5.2.2 Interpolação da Batimetria	75
5.2.3 Modelagem Matemática	75
<b>5.3 Resultados e Discussão</b>	<b>80</b>
5.3.1. Primeiro Cenário – Ondulação de NE.	80
5.3.2. Segundo Cenário – Ondulação de E.	83
5.3.3. Terceiro Cenário – Ondulação de SE.	86
5.3.4. Quarto Cenário – Ondulação de Tempestade.	88
<b>5.4 Conclusões</b>	<b>90</b>
<b>Capítulo 6 - Perda de Sedimentos Através dos Banhistas</b>	<b>91</b>
<b>6.1 Introdução</b>	<b>91</b>
<b>6.2 Materiais e Métodos</b>	<b>91</b>
6.2.1 Estimativa do Fluxo de Pessoas nas Praias	91
6.2.2 Amostragem Sedimentar das Pessoas, Objetos, e Trajes de Banho	94
6.2.3 Pesagem das Amostras	95
6.2.4 Análise Granulométrica	95
6.2.5 Cálculo da Área Superficial Corpórea das Pessoas	95
6.2.6 Cálculo da Massa Sedimentar Retirada Aderida à Superfície Corpórea das Pessoas, Objetos, e Trajes de Banho.	95
6.2.7 Cálculo do Volume Total de Sedimento Retirado das Praias	95
<b>6.3 Resultados e Discussão</b>	<b>96</b>
<b>6.4 Conclusões</b>	<b>99</b>

<b>Capítulo 7 – Balanço Sedimentar</b>	<b>100</b>
<b>7.1 Introdução</b>	<b>100</b>
<b>7.2 Materiais e Métodos</b>	<b>100</b>
<b>7.3 Resultados e Discussão</b>	<b>101</b>
7.3.1 Rio Camboriú e Antepraia	101
7.3.2 Canal do Marambaia e Antepraia	102
7.3.3 Praia e Antepraia	103
7.3.4 Praia e Continente	103
<b>7.4 Conclusões</b>	<b>104</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO 2</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO 3</b>	<b>138</b>
<b>ANEXO 4</b>	<b>147</b>

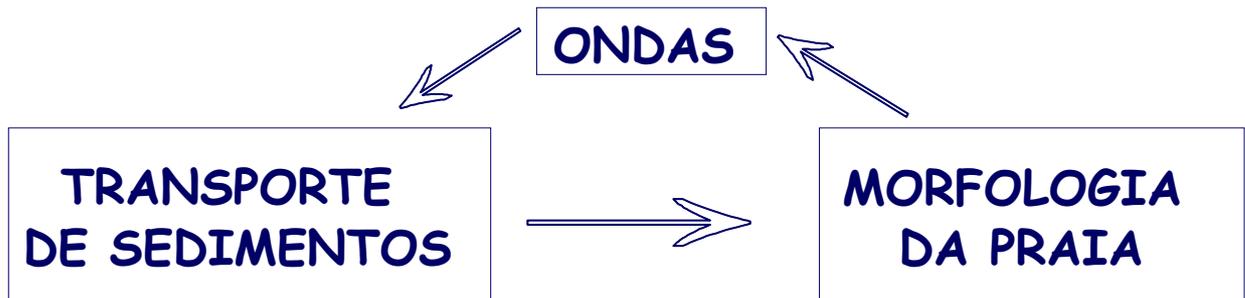
# Capítulo 1 - Introdução

## 1.1 INTRODUÇÃO

O Balanço sedimentar pode ser definido como a resultante da quantidade de sedimentos que entra em um sistema e quantidade de sedimentos que sai deste sistema (USACE, 1984).

Em praias arenosas oceânicas o estudo do balanço sedimentar é importante para se calcular as taxas de erosão e acresção das praias. Processos erosivos ocorrem quando a quantidade de sedimento que sai do sistema praiial supera a quantidade que entra gerando um balanço sedimentar negativo. A situação oposta evidencia um balanço sedimentar positivo, e conseqüentemente uma progradação da linha de costa. A estabilização da linha de costa é obtida em condições nulas da resultante do Balanço sedimentar.

O sistema morfodinâmico costeiro é definido por Wright & Thom (1977) como sendo a completa assembléia de limites contrastantes, forças motrizes, processos dinâmicos do fluído, morfologia e sucessão de mudanças evolutivas. Baseado neste conceito se define a morfodinâmica de uma praia, como sendo o resultado da interação entre as ondas incidentes, o transporte de sedimentos e a morfologia antecedente da praia formando um ciclo fechado retroalimentado, no qual as ondas incidentes irão atuar sobre o transporte de sedimentos modificando a morfologia da praia que por sua vez influenciará as ondas incidentes (Figura 1).



*Figura 1* - Esquema representativo de um ciclo fechado (retroalimentado) que demonstra a interação entre ondas incidentes, o transporte de sedimentos e a morfologia da praia (Wright & Thom, 1977).

Os processos morfodinâmicos costeiros que influenciam no balanço sedimentar ocorrem em diferentes escalas temporais e espaciais podendo ser divididos em 4 grupos (Cowell et al., 1995): 1) Instantâneos, que envolvem alterações morfológicas primárias pela ação de ondas e marés; 2) Eventos, inclui a formação de estruturas sedimentares e seqüências deposicionais; 3) Histórica, envolve a evolução sobre diversas alterações morfológicas que levam a alterações no transporte de sedimentos; e 4) Geológica, resultado de uma média de condições ambientais sobre milênios (Figura 2).

A escala deste trabalho inclui de processos instantâneos com transporte de sedimentos ocorrido pelas correntes geradas por ondas geradas por ventos e de maré, até a escala histórica com a análise da variação da linha de costa.

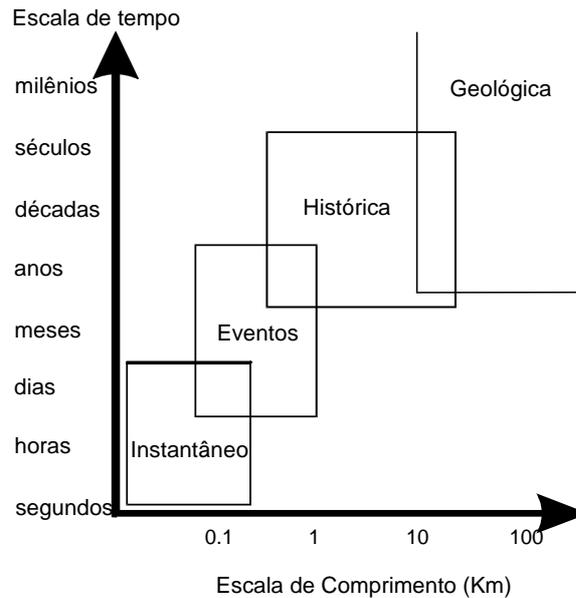


Figura 2 - Divisão das escalas temporal e espacial na evolução costeira (Cowell *ET AL.*, 1995).

## 1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.2.1 Considerações Sobre Praias Arenosas Oceânicas

As praias arenosas oceânicas constituem-se num dos ambientes mais dinâmicos da zona costeira. Short (1999) definiu praias oceânicas como sendo corpos de sedimentos arenosos não coesivos e inconsolidados sobre a zona costeira. São dominadas por ondas e limitadas internamente pelos níveis máximos da ação das ondas de tempestades e/ou pelo início da ocorrência das dunas ou qualquer outra mudança fisiográfica brusca.

A morfologia destes ambientes é variável espaço-temporalmente, sendo que qualquer tentativa de delimitar seus subambientes (zonação morfológica) deve levar em consideração os agentes promotores de tais mudanças, ou seja, os processos hidrodinâmicos que as dominam. Hidrodinamicamente distinguem-se em uma praia várias zonas (zonação hidrodinâmica) que podem ser facilmente observadas Figura 3.

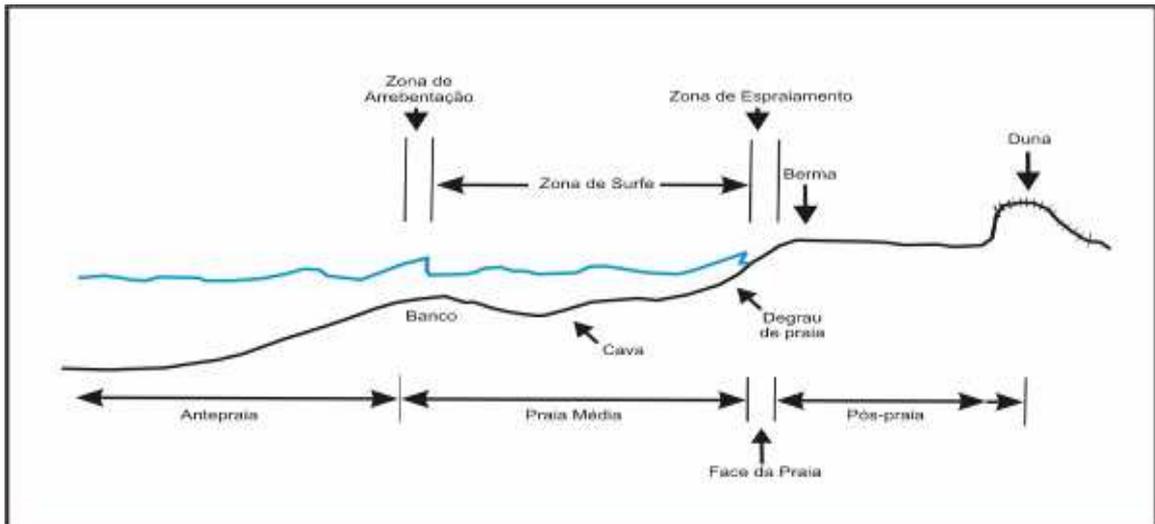


Figura 3 - Figura ilustrativa da zonagem morfológica e hidrodinâmica de uma praia arenosa oceânica (modificado de Hoefel, 1988).

A zonagem hidrodinâmica pode ser classificada em três:

**Zona de arrebenção** - porção do perfil praiar caracterizado pela quebra da onda, e que representa o modo de dissipação energética da onda sobre a praia.

**Zona de surfe** – zona da praia limitada pela dissipação da energia da onda, após sua quebra. Assim, a caracterização da zona de surfe depende diretamente do tipo de arrebenção da onda. Em praias planas e de baixa declividade, as ondas quebram e reformam-se como vagalhões, espalhando-se ao longo da zona de surfe com uma diminuição da altura, até atingirem à linha de costa.

**Zona de espraiamento** - região da praia delimitada entre a máxima e a mínima excursão (percurso) da onda sobre a face da praia, após a sua quebra.

A zonagem morfológica de uma praia pode ser dividida em:

**Antepraia** – porção do perfil praiar caracterizado pelos processos de empolamento da onda (shoaling), que se estende, em direção à terra, a partir da profundidade de fechamento externa (de) até a profundidade de fechamento interna (di), ou até o início da zona de arrebenção.

**Praia média** - porção do perfil praiial sobre o qual ocorrem os processos da zona de arrebentação e da zona de surfe.

**Face da praia** – é a zona frontal da praia limitada entre as linhas normais de marés altas e baixas, sobre a qual ocorrem os processos da zona de espraiamento (fluxo e refluxo da onda).

**Pós-praia** - zona que se estende do limite superior do espraiamento até o início das dunas fixadas por vegetação ou de qualquer outra mudança fisiográfica brusca. É inundada quando das marés altas excepcionais ou pelas ondas de tempestade.

**Berma da praia** – porção sub-horizontal (terraço) do pós-praia formada por deposição de areia por ação das ondas. A berma caracteriza-se por uma seção transversal triangular, com a superfície do topo horizontal ou com suave mergulho rumo ao continente, e a superfície frontal com mergulho acentuado rumo ao mar.

### 1.2.2 Praias de Enseada

Praias de enseada são aquelas limitadas por promontórios rochosos ou outros obstáculos físicos, geralmente formando um arco com curvatura acentuada e cujo contorno tende assumir a forma de um meio coração ou de uma lua crescente. Na maioria das vezes, desenvolvem formas assimétricas, caracterizadas por uma zona de sombra localizada próxima ao promontório rochoso, protegida da energia de ondas e fortemente curvada (Figura 4). A parte central é levemente curvada, e a outra extremidade é relativamente retilínea, sendo normalmente paralela à direção dominante dos trens de onda na região.



Figura 4 - Forma das praias de enseada, mostrando a linha de controle da forma da enseada, a zona de sombra do promontório e a seção retilínea da praia.

### 1.2.3 Perfil Praial de Equilíbrio

Bruun (1954) desenvolveu estudos na zona costeira dos Estados Unidos e Dinamarca e posteriormente Dean (1977) analisando dados batimétricos de 504 perfis das costas Atlântica e do Golfo do México, desenvolveram a Regra de Bruun envolvendo conceitos de antepraia em resposta ao aumento do nível do mar, considerando que “com o aumento do nível do mar o perfil de equilíbrio de uma praia e antepraia se movem em direção ao continente para a manutenção de sua posição relativa ao novo nível da água” (Figura 5), representada pela equação 1:

$$h = Ax^m \quad (1)$$

Onde  $h$  é a profundidade através do perfil,  $x$  é a distância da linha de costa,  $A$  é um parâmetro empírico que depende das características dos sedimentos (tamanho e velocidade de deposição) e  $m$  é um expoente também empírico que depende de como a energia da onda é dissipada por unidade de volume da água ( $m = 2/3$ ) ou por área superficial de fundo ( $m = 2/5$ ).

Essa dissipação de energia é constante ao longo do perfil, isto é, o fluxo de energia incidente é igual ao fluxo de energia que sai do sistema mais a parte que é dissipada no interior deste, representada pela equação 2:

$$D_* = e/h = \partial (EC_g)/\partial \quad (2)$$

onde,  $E = 1/8 \rho g H^2$ ,  $C_g = \sqrt{gh}$ ,  $H = \gamma h$

Sendo  $H$ =altura da onda,  $E$ =energia,  $C_g$ =celeridade,  $\gamma$ =índice de quebra e  $h$ =profundidade.

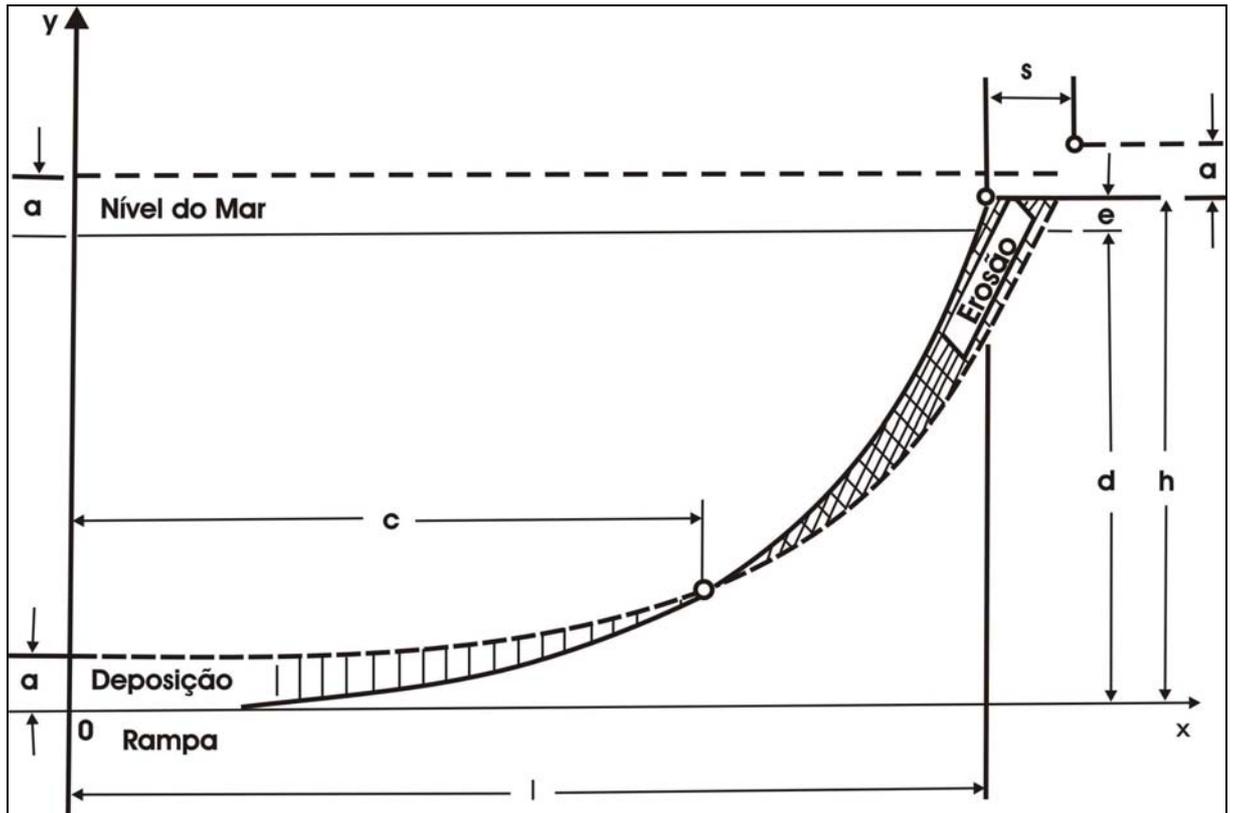


Figura 5 - Manutenção do perfil em função da variação do nível do mar ( $a$ ) causando a translação da praia ( $s$ ), onde  $d$  é a profundidade e  $I$  a distância do perfil à praia, modificado de Bruun (1954).

Bruun (1954) sugeriu três mecanismos para descrever o perfil de equilíbrio:

- O perfil é formado pela tensão de cisalhamento devido à ação das ondas na direção normal/perpendicular à costa;
- A variação ao longo do tempo ( $t$ ) da tensão de cisalhamento, ( $\tau$ ), por unidade de área do fundo, ( $x$ ), é constante ( $d\tau/dx = d\tau/dt = 0$ );
- A perda de energia por metro quadrado de superfície do fundo é constante ( $dE/dt = \text{constante}$ ).

Com o valor do expoente  $m$ , obtém-se a forma do perfil (côncavo, convexo ou linear), onde:

- $m = 1$ , caracteriza o perfil linear;
- $m > 1$ , o perfil é convexo, isto é, indica a dominância da entrada de sedimentos, a partir de rios, sobre os demais fatores responsáveis pela evolução do perfil, ou seja, quando a energia da bacia receptora não é o suficiente para distribuir os sedimentos;
- $m < 1$ , o perfil formado é côncavo no qual ocorre a dominância de ondas.

Dean (1977) definiu as quatro características básicas para o perfil de equilíbrio, que sugerem:

- Desenvolvimento de perfil praiar côncavo para cima,
- Quanto menor o tamanho de grão, menor a declividade do perfil praiar,
- Desenvolvimento de face de praia plana,
- Quanto maior a inclinação da onda menor a declividade do perfil praiar.

Segundo o mesmo autor, a forma de perfil de antepraia é governada pela tendência natural de se ajustar em direção a uma espécie de equilíbrio, em que o gradiente de transporte sedimentar é nulo sendo este, uma função de:

- Disponibilidade e composição dos sedimentos (tamanho e forma do grão),
- Batimetria da antepraia,
- Variação do nível do mar,
- Clima de ventos e ondas.

Dean (1977) observou uma variação considerável ao usar os parâmetros  $A$  e  $m$ . Este autor encontrou valores para o expoente  $m$  variando entre 0,1 e 1,4 e para o parâmetro  $A$  entre 0,0025 e 6,31, sendo que o valor médio e a moda para o expoente  $m$  estiveram ao redor de  $2/3$  (0,67). Desta forma o autor escolheu o valor de 0,67 para o expoente  $m$  e obteve o valor de  $A$  para os dados dos perfis, através de métodos de regressão, encontrando valores entre 0 e 0,3. O mesmo autor fornece uma relação empírica para o tamanho de grão em função da velocidade de deposição do mesmo (Equação 3):

$$A = 0.067w_s^{0.44} \quad (3)$$

onde  $w_s$  representa a velocidade de sedimentação do grão.

Moore (1982) sugeriu que o parâmetro  $A$ , que caracteriza a forma do perfil, controla a declividade deste e está relacionada com o tamanho de sedimentos presentes no fundo. Assim, a declividade aumenta com a presença de tamanhos de grãos maiores (Figura 6). Alguns valores são apresentados abaixo:

- $d_{50} = 0,1$ mm	$A = 0,08$
- $d_{50} = 0,3$ mm	$A = 0,12$
- $d_{50} = 0,5$ mm	$A = 0,18$
- $d_{50} = 1,0$ mm	$A = 0,30$
- $d_{50} = 5,0$ mm	$A = 0,50$

A partir dos dados, o autor sugeriu a equação 4 para caracterizar o tamanho de grão através da velocidade de assentamento ( $w_s$ ) e a partir deste obter a forma do perfil:

$$A=0,51w_s^{0,44} \quad (4)$$

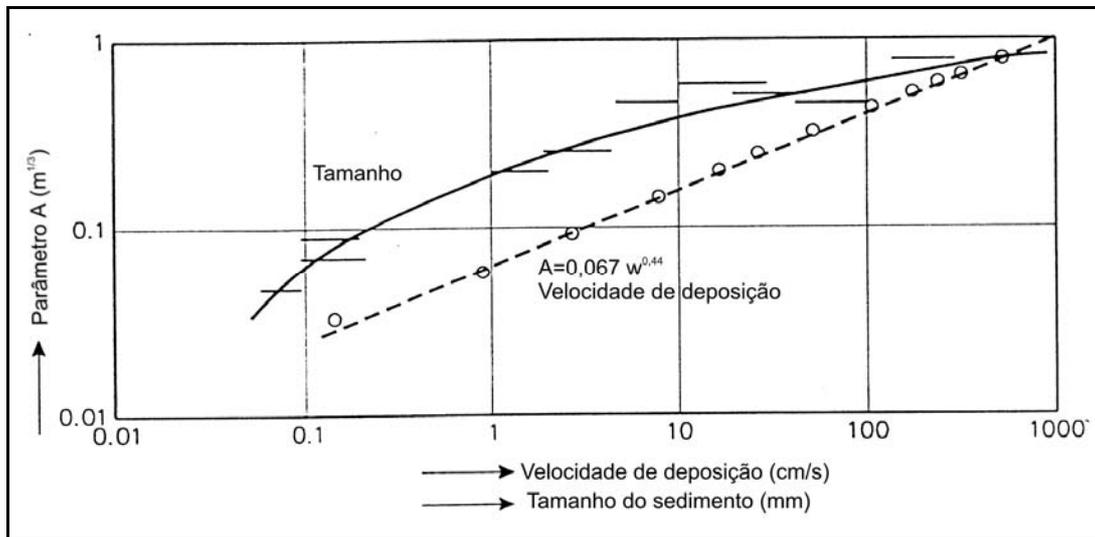


Figura 6 - Gráfico demonstrando o aumento do parâmetro A como uma função do aumento do tamanho do sedimento (mm) e da velocidade de sedimentação (cm/s), segundo Moore (1982).

Assim, o perfil praiar pode ou não estar em equilíbrio, o que irá depender das condições hidrodinâmicas (frequência, altura e período de retorno das ondas), da herança geológica local (presença de afloramentos rochosos emersos e submersos) e da morfologia da praia (declividade do perfil). A Regra de Bruun assume que o perfil de equilíbrio é delimitado em direção ao mar pela profundidade de fechamento definida como o limite externo de ação das ondas sobre o fundo, isto é, profundidade a partir da qual não há mais significativo transporte sedimentar por ação das ondas. Assim, durante o processo de quebra da onda, seu movimento se transforma em flutuações turbulentas que colocam o material em suspensão e causam sua mobilização reduzindo sua dissipação e proporcionando uma condição de equilíbrio.

### 1.2.4 Estabilidade das Praias em Planta

A estabilidade de praias de enseada, com promontórios limitando suas extremidades, pode ser determinada também pelo balanço de sedimentos. Devido às praias de promontórios serem formadas por ondas que chegam à praia obliquamente, a taxa de deriva litorânea é o fator mais importante na determinação de sua estabilidade.

A praia de enseada pode ser classificada em equilíbrio estático, em equilíbrio dinâmico ou instável. Equilíbrio estático é o estado no qual as ondas tendem a quebrar simultaneamente na enseada toda. Portanto, não ocorre deriva litorânea e os processos de erosão e acresção de

longo período não ocorrerão. Para enseadas em equilíbrio dinâmico a relação entre deriva litorânea e aporte de sedimentos manterá a linha de costa na posição original. Em uma situação instável a relação de balanço sedimentar é quebrada.

No caso do equilíbrio estático, o sedimento transportado é nulo sob condições de ondas predominantes. Caso haja um pequeno transporte de sedimento, a estabilidade da praia pode ser classificada como próxima do estado de equilíbrio. No equilíbrio dinâmico, ocorre um balanço entre o volume de sedimentos que entra e que sai do sistema. Portanto, se a quantidade de sedimento aumenta ou diminui, a linha de costa em equilíbrio dinâmico irá avançar ou retroceder. Neste caso, a praia é considerada instável.

Para definir a estabilidade das praias em planta muitas equações têm sido desenvolvidas. Desde os anos 40 muitos modelos morfológicos têm sido aplicados para ajustar a forma em planta de praias de enseada protegidas por promontórios. As três principais equações de enseadas parabólicas são: (1) equação logarítmica espiral; (2) equação de forma tangente-hiperbólica; e (3) equação de enseadas de forma parabólica. Elas diferem nas equações matemáticas, nos sistemas de coordenadas, origem e parâmetros de controle relacionados à direção de ondas e a geometria da enseada. A altura e período das ondas e não são incluídas em nenhuma destas expressões.

#### **1.2.4.1 Equação Logarítmica Espiral**

A equação logarítmica espiral foi introduzida primeiramente por Krumbein (1944) para ajustar a curva da linha de costa de uma enseada de meia lua na Califórnia. Yasso (1965) aplicou esta equação a outras 4 praias de enseada nos Estados Unidos da América. Porém este método apresentava alguns problemas: (a) a origem do sistema de coordenadas não podia ser localizada fisicamente, desde que este não coincidissem com o ponto de difração das ondas; (b) a ponta dos promontórios da enseada não é utilizada neste modelo; e (3) não foi proposto um modelo de estabilidade.

#### **1.2.4.2 Equação de Forma Tangente-Hiperbólica**

Moreno e Kraus (1999) propuseram a equação de forma tangente-hiperbólica para ajustar a curva de 46 praias na Espanha e América do Norte. Este método pode ser aplicado para ajustar a forma em planta de qualquer praia de enseada. Entretanto, a estabilidade praias também não pode ser definida por este método. Adicionalmente, a origem dos sistemas de

coordenadas também não é colocado no ponto de difração das ondas, então o efeito da relocação deste ponto não pode ser testado com esta equação.

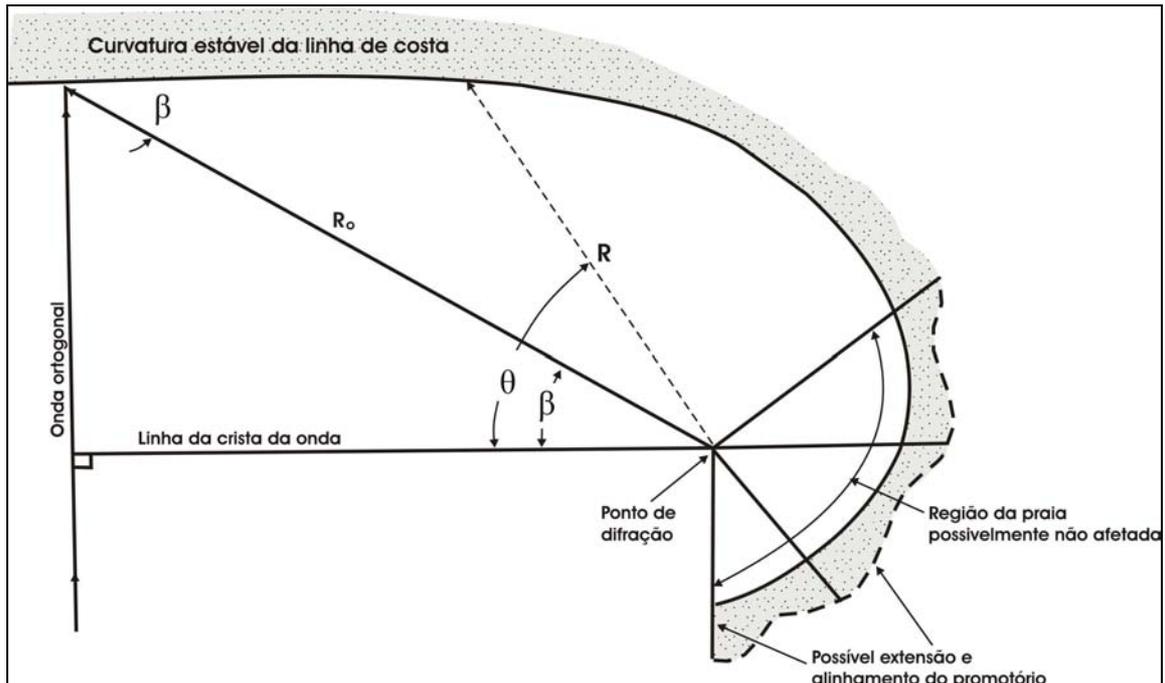
#### 1.2.4.3 Equação da Forma de Enseadas Parabólicas

Hsu & Evans (1989) desenvolveram uma equação polinomial de segunda ordem para ajustar a forma em planta de 27 protótipos e modelos de enseadas que acreditavam estar em equilíbrio estático. Este método usa o ponto de difração da onda como a origem do sistema coordenado. Este modelo apresenta a condição de praia em planta (Figura 7).

A equação forma de enseada parabólica foi verificada em diversas praias ao redor do mundo. A forma de enseada parabólica proposta por Hsu & Evans (1989) é dada pela Equação 5:

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 \left( \frac{\beta'}{\theta} \right) + C_2 \left( \frac{\beta'}{\theta} \right)^2 \quad (5)$$

Onde  $C_0$ ,  $C_1$  e  $C_2$  (coeficientes de transporte) possuem valores universais em função dos ângulos  $\beta'$  e  $\theta$ , ângulos entre a linha da crista de onda que chega perpendicular à costa e a linha da direção da onda difratada, se estendendo da primeira onda ortogonal que atinge a costa até o ponto de difração (linha  $R_0$ ) e da linha central da praia até o mesmo ponto (linha  $R$ ), respectivamente.



**Figura 7 -** Modelo em planta de praias com presença de obstáculos, onde a  $\beta$  e  $\theta$  são ângulos entre a linha da crista de onda e a linha da onda difratada e  $R$  corresponde a linha central da praia até o ponto de difração da onda, segundo Hsu & Evans (1989).

Os dois parâmetros físicos preliminares na Equação 5 são o comprimento da linha de controle  $R_0$  e o ângulo de obliquidade da onda da referência  $\beta$ . A linha do controle é definida como a linha entre o ponto de difração da onda e o ponto de controle da costa, que é um ponto sobre ou próximo à seção reta da praia (Figura 7),  $\beta$  representa o ângulo entre a crista da onda incidente e a linha do controle. Os valores do  $R_0$  e  $\beta$  podem ser obtidos de fotografias aéreas, de mapas e dos dados da onda. O raio  $R$  está a uma distância do ponto de difração da onda a algum ponto da praia ao longo da curva da baía, com um ângulo correspondente  $\beta$  relativo às cristas da onda incidente. Os valores de  $R$  são calculados nos intervalos constantes, partindo de  $\theta = \beta$  a um máximo de  $150^\circ$  ou de  $180^\circ$ . Os valores pares de  $(R, \theta)$  representam a posição da linha de costa de uma forma idealizada da enseada em equilíbrio estático. As três constantes  $C_0$ ,  $C_1$  e  $C_2$  foram geradas pela análise da regressão para ajustar as curvas das 27 enseadas dos protótipos e modelos acima mencionadas, e variam com ângulo da referência  $\beta$  e são limitados entre 2.5 e -1.0 para uma escala de valores de  $\beta$  de  $10^\circ$  a  $80^\circ$ , que é aplicável na maioria de condições do campo.

Com os valores de  $(R, \theta)$  calculados a forma em planta da linha de costa em equilíbrio estático pode ser desenhado em um mapa ou em uma fotografia. Desta forma, a estabilidade da praia pode ser avaliada como segue:

- Se a forma existente da baía se ajustar bem à forma calculada, a praia está no equilíbrio estático, com fonte nula do sedimento;
- Uma forma próxima da linha de costa calculada significa que a praia está próxima do estado do equilíbrio estático;
- Se a linha de costa atual estiver posicionada em direção ao mar da linha de costa calculada, a praia está em equilíbrio dinâmico enquanto a fonte de sedimento for mantida. Entretanto, quando a fonte do sedimento é reduzida, a praia torna-se instável e a linha de costa regressará para a linha de costa calculada;
- Se a forma existente da enseada estiver em direção a costa calculada, a praia deverá sofrer uma acreção natural até a alcançar a linha de costa calculada.

A linha de costa calculada para enseada em equilíbrio estático se altera quando a ponta do promontório é alterada por uma estrutura rígida ou quando a direção das ondas incidentes predominante muda.

Berenguer & Enríquez (1992) e Jiménez *et al.* (1995), concluíram que havia variações nos coeficientes da equação, isto é, embora a expressão proposta por Hsu & Evans (1989) represente a forma de equilíbrio, os valores dos coeficientes dependerão das características físicas da praia, sedimentos e clima de ondas dominante, portanto, não apresenta uma forma estática. Este tipo de modelo, importante para alimentação de praias, considera que a forma final da praia após um período de tempo, será igual a forma inicial da mesma; porém, é necessário também o conhecimento da forma intermediária da praia, isto é, a sua evolução temporal. Considerando situações reais da costa como a erosão de uma praia com transporte exclusivamente longitudinal de sedimento, um dos modelos numéricos mais utilizados é o modelo de uma linha, que permite avaliar a evolução em planta de uma praia com qualquer forma inicial, estruturas presentes e clima de ondas incidente segundo a equação de difusão.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = -\frac{1}{h_* + B} \left( \frac{\partial Sl}{\partial y} - q \right) \quad (6)$$

onde, X é a posição da linha de costa, q representa fontes ou sumidouros de sedimento, B é a altura da berma, h\* é a profundidade de fechamento e Sl a taxa de transporte longitudinal, representada por Ozasa & Brampton (1980), como:

$$Sl = Sl_{cerc} + \frac{k_2^*}{8(s-1)(1-p)\tan\beta} H_b^2 C_{g,b} \frac{\partial H_b}{\partial y} \cos\alpha_b \quad (7)$$

onde, a primeira parte da equação que representa a fórmula do USACE (1984) é função do coeficiente de difusão ( $\varepsilon'$ ) e a segunda representa um gradiente da altura de onda no ponto de quebra ( $H_b$ ) na costa em função da existência de estruturas que causam difração de ondas, sendo  $k^*$  a constante de calibração da fórmula do USACE,  $\rho$  a porosidade do sedimento,  $s$  a densidade relativa.

$$\varepsilon' = \frac{2S_0}{h_* + B} = \frac{2}{h_* + B} \frac{kH_b^{2,5} \sqrt{g/y}}{16(s-1)(1-p)} \quad (8)$$

Sendo  $Y$  o raio entre a altura da onda e a profundidade de quebra.

Jiménez (1995) utilizou esta ferramenta para mostrar a evolução de uma praia com obstáculos colocados a diferentes distâncias, obtendo uma posição ótima para a implantação de um espigão reduzindo a erosão de uma praia. O modelo permite, portanto, obter a posição adequada da instalação de um obstáculo impedindo dessa forma que o processo de erosão de uma praia se agrave.

Rodríguez (1995), considerando todas as formas de propagação de energia possíveis em praias com a presença de obstáculos, aplicou diferentes modelos de perfil de equilíbrio dependendo da localização do perfil (Figura 8).

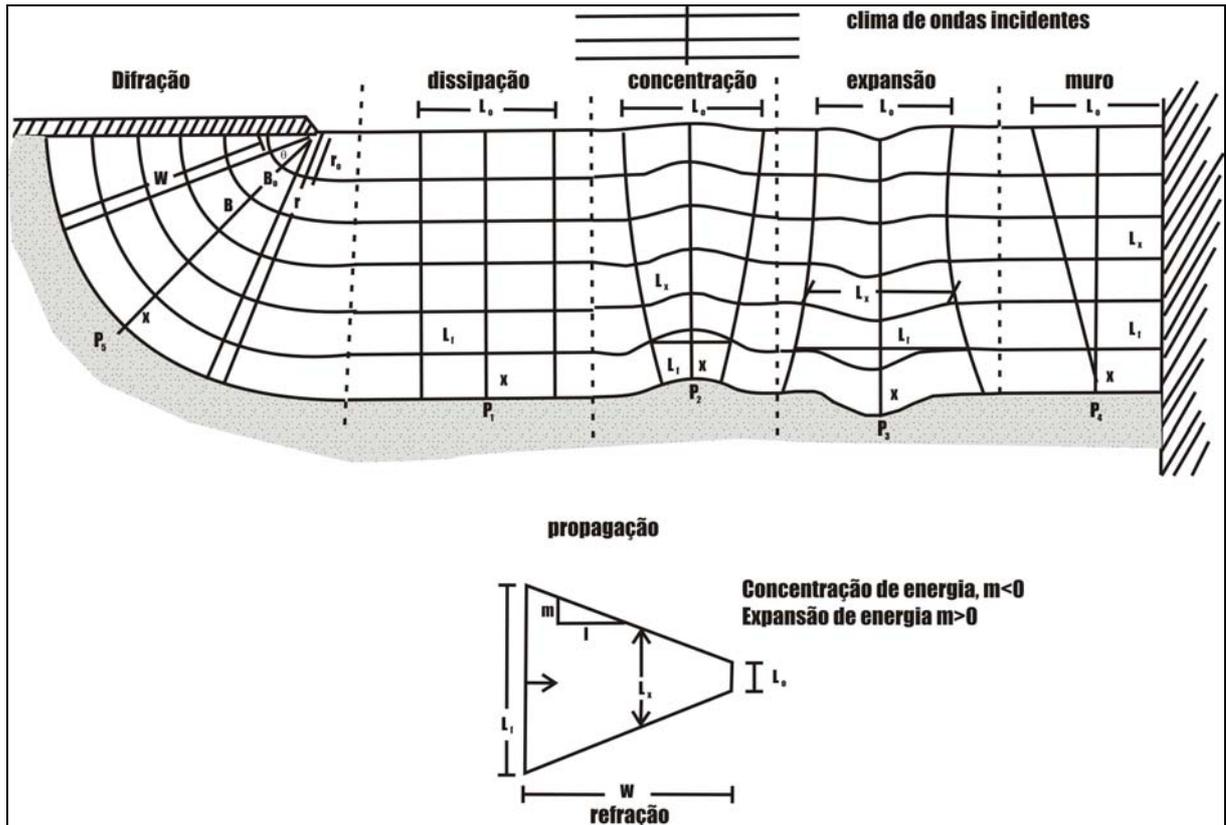


Figura 8 - Modelo em planta com refração, difração e dissipação de ondas, segundo Rodríguez (1995).

Conforme a Figura 8, o perfil P1 pode ser descrito pelo modelo de Bruun (1954) e Dean (1977) devido a existir somente dissipação de energia ao longo do perfil ( $L_o = L_f$ ), isto é, não existe nenhum gradiente de energia, assim,  $kr=1$ .

Nos perfis P2 e P3 podem se verificar, além da dissipação de energia de onda, um gradiente de energia por refração onde o coeficiente é dado por  $k^2r = L_o / L_f$  devido a presença de bancos (P2) e cavas (P3).

O perfil P4 é influenciado pela presença de um muro o qual cria sobre elevação da onda, alterando seu gradiente de energia. No perfil P5 a onda, ao atingir o obstáculo sofre o processo de difração com coeficiente igual a  $k_d = F(T, x, \theta, h)$ .

Para o efeito de refração de ondas, parte-se da hipótese de dissipação uniforme de energia de onda de Dean (1977), considerando a Equação 9.

$$k = 5/16 \rho g^{5/2} \gamma^2 \quad (9)$$

$$h^{3/2} = \frac{3}{2k} \int_0^x D_* L_{(x)} dx \quad (10)$$

onde,  $L$  é variável conforme a equação 11:

$$L_{(x)} = L_0 + 2m(W-x) \quad (11)$$

Com  $x \leq W$ , sendo  $W$  a distância entre a praia e a profundidade de fechamento do perfil ( $h^*$ ); os autores afirmam que sendo  $L_0$  a distância entre concentração ou expansão de energia e  $L(x)$  a variação da distância de reflexão, para o perfil P2 de concentração de energia ( $m < 0$ ) e P3 de expansão de energia ( $m > 0$ ) a profundidade será igual a equação 12.

$$h^{3/2} = \left( \frac{3D_*L_0}{2k} + \frac{6D_*Wm}{2k} \right) x - \frac{6D_*}{2k} \frac{m}{2} x^2 \quad (12)$$

sendo,

$$k_r^2 = \frac{L_0}{L_f} = \frac{L_0}{L_0 + 2Wm} \quad (13)$$

assim, quando  $L_0 = 1$ , o valor de  $m$  será:

$$m = \frac{1 - k_r^2}{2Wk_r^2} \quad (14)$$

onde, o perfil final é então demonstrado pela equação 15.

$$h = \left( \frac{1}{k_r^2} \left( 1 - \frac{x}{2W} \right) + \frac{x}{2W} \right)^{2/3} Ax^{2/3} \quad (15)$$

onde,  $A$  é função do tamanho mediano de sedimento da praia,  $k_r$  representa o coeficiente de refração da onda que é descrito em função de  $r$  (distância da primeira onda difratada) e  $W$  (distância entre a praia e a profundidade de fechamento do perfil- $h^*$ ) e  $x$  é a distância da linha de costa.

Para o modelo de difração-refração de ondas a distância da linha de costa ( $x$ ) em função da profundidade de fechamento ( $h^*$ ), será igual a distância total ( $W$ ), portanto,  $W$  é calculado pela equação 16.

$$h_* = \left( \frac{1}{2k_r^2} + \frac{1}{2} \right)^{2/3} AW^{2/3} \quad (16)$$

sendo:

$$k_r^2 = \frac{r_0}{r} = \frac{r-W}{r} \quad (17)$$

A forma final do perfil é representada por:

$$h(x) = A_p(x) Ax^{2/3} \quad (18)$$

onde  $A_p$  é igual a:

$$A_p(x) = \left( \frac{1}{k_r^2} \left( 1 - \frac{x}{2W} \right) + \frac{x}{2W} \right)^{2/3} \quad (19)$$

### 1.2.5 Sedimentos nas Praias Arenosas Oceânicas

As praias são ambientes altamente dinâmicos e encontram-se situadas na área de transição entre o oceano e o continente. Funcionam como importantes reservatórios de sedimentos, os quais são freqüentemente alterados tanto pela ação marinha quanto pela ação antrópica.

Segundo King (1972), a fonte do material e os processos de deposição afetam a distribuição do tamanho dos grãos dos sedimentos praias, sendo que o elemento mais importante para seleção do material da praia é a dissipação de energia das ondas, que é proporcional a sua altura. Assim, o material mais grosseiro está intimamente associado com zonas de maior energia. O material pode então ser transportado para a parte da praia que está em equilíbrio com as condições prevalecentes, o que pode ser aplicado para a seleção, através e ao longo da costa.

A seleção dos sedimentos ao longo e através da praia pode influenciar a declividade da praia. Bascom (1951) sugere que o tamanho da partícula do sedimento e a intensidade da ação das ondas controlam a inclinação da face praial. A ação das ondas pode retirar partículas mais finas, as quais migrariam para a plataforma adjacente quando expostas à ação das ondas, fazendo com que os grãos mais grosseiros se acumulem na praia e, conseqüentemente, aumentem a sua declividade. Este autor sugere ainda que a berma, juntamente com o degrau da praia (Figura 3), 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.

### **1.2.6 Transporte de Sedimentos**

A arrebentação das ondas gera vários padrões de transporte vertical e horizontal de sedimentos praias. Muitas vezes este transporte resulta somente no rearranjo do sedimento em bancos e cavas submersos, ou em uma extensiva dispersão de sedimentos ao longo da costa, possibilitando o transporte de centenas de milhares de metros cúbicos de sedimento a cada ano (USACE, 1984).

O transporte de sedimentos por ação das ondas ocorre tanto na direção longitudinal e perpendicular à praia, os quais são chamados de transporte longitudinal e transversal respectivamente (Hoefel, 1998).

### **1.2.7 Trocas de Sedimentos no Prisma Praial**

A região do ambiente praial onde ocorrem as trocas de sedimentos e conseqüentes mudanças morfológicas é chamada de prisma praial. Esta se limita entre a profundidade de fechamento e alguma mudança na fisiografia brusca da praia.

Os sedimentos que se encontram junto à costa estão em constante movimentação, procurando sua posição de equilíbrio em função da dinâmica. A troca de estoques de areia entre a porção emersa e submersa do perfil praial, ocorre principalmente durante os eventos de tempestade, erodindo a face e berma e depositando na forma de bancos submersos. O processo inverso ocorre em períodos intertempestades.

Segundo Short & Masselink (1999), o transporte longitudinal de areia se alterna em direção à extremidade oposta de uma praia de enseada, limitada por promontórios, em decorrência da variação sazonal ou periódica no clima de ondas de uma determinada região, especialmente na direção das ondas. O processo de rotação praial ocorre na escala de meses a décadas, gerando grande variação e movimentação da linha de costa, sem que haja ganho ou perda líquida de sedimentos.

### **1.2.8 Balanço de Sedimentos**

O balanço de sedimentos nada mais é do que a aplicação do princípio de continuidade e conservação de massa para os sedimentos litorâneos. A taxa de troca de sedimentos e o sistema são dependentes, ou seja, a taxa de areia que entra no sistema e a taxa que sai dele. O balanço sedimentar envolve as contribuições sedimentares e as perdas de um compartimento litorâneo (Bowen & Inman, 1966).

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). As perdas e ganhos de um sistema costeiro, demonstrados em um balanço de sedimento, é refletido na erosão e deposição de uma praia (Komar, 1976; Rosati, 2005).

Bowen & Inman (1966) sumarizaram as principais fontes e perdas de sedimentos existentes em um balanço sedimentar litorâneo (Tabela 1). 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.

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.

Tabela 1. Balanço sedimentar litorâneo (Bowen & Ilman, 1966).

<b>Fonte</b>	<b>Débito</b>	<b>Balanço</b>
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	
Erosão dos costões	Transporte de sedimentos para a plataforma continental	
Transporte de sedimentos da plataforma continental		
Transporte eólico para a praia		
Alimentação praial		

Kuriyama (2003) apresentou uma metodologia para a análise do balanço de sedimentos através de fotografias aéreas na costa japonesa entre 1977 e 1997. A Figura 9 apresenta a metodologia aplicada pelo autor para calcular o balanço sedimentar.

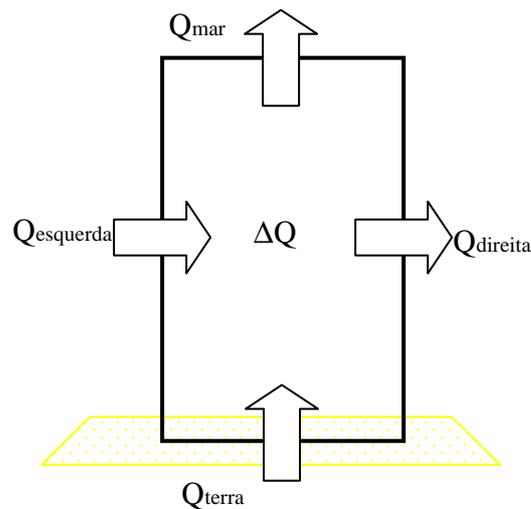


Figura 9 - Esquema para movimento de areia em uma célula do ambiente praiial (Kuriyama, 2003).

A fórmula para cálculo das taxas de transporte para os dois lados do compartimento é simplesmente uma derivação da equação de conservação de massa expressada por:

$$Q_{\text{direita}} = Q_{\text{esquerda}} + Q_{\text{terra}} - Q_{\text{mar}} - \Delta Q \quad (20)$$

Onde  $Q_{\text{direita}}$  e  $Q_{\text{esquerda}}$  são as taxas de transporte ao longo da costa nos limites do compartimento, respectivamente,  $Q_{\text{terra}}$  e  $Q_{\text{mar}}$  são as taxas em direção ao mar nos limites em direção a terra e ao mar, respectivamente, e  $\Delta Q$  é a mudança de volume no compartimento.

A estimativa da variação de volume de sedimento através de fotografias aéreas é dada por:

$$\Delta Q = \Delta v.L.D \quad (21)$$

onde  $\Delta Q$ , é a variação da linha de costa,  $L$  é a distância ao longo da costa do compartimento e  $D$  é a altura do pacote sedimentar transportado.

Rosati & Kraus (1999) apresentaram um modelo conceitual e quantitativo das direções e magnitudes de transporte de sedimentos em desembocaduras de rios e praias adjacentes em um determinado tempo (Figura 10). O Sistema de Análises do Balanço Sedimentar (SBAS) é um modelo computacional visual, que entre algumas de suas capacidades pode-se relacionar (Rosati & Kraus 2001):

- Gerar e atualizar equações de balanço de sedimento de forma automatizada em células computacionais;

- Relacionar diferentes balanços de sedimento para uma mesma região costeira;
- Utilizar fotografias aéreas costeiras como papel de parede para definição do Balanço de Sedimentos.

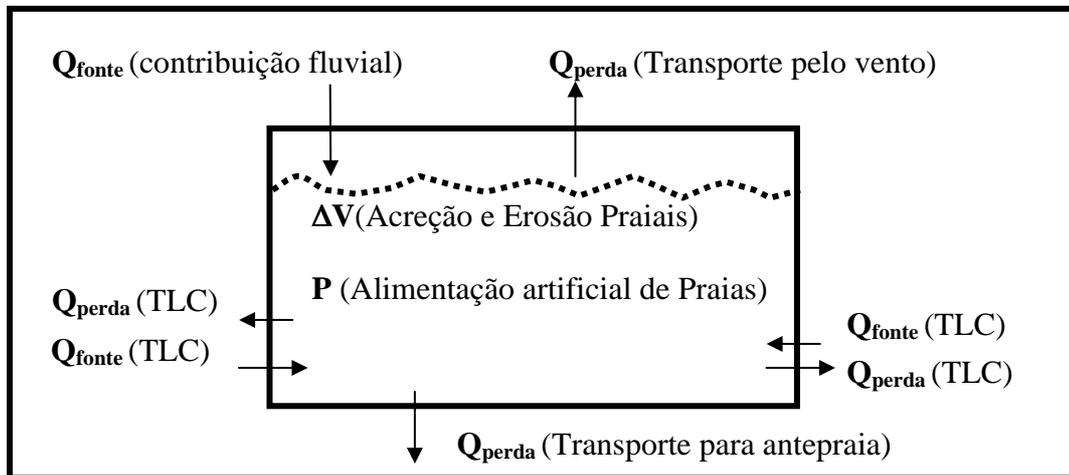


Figura 10 - Parâmetros de controle do balanço de sedimentos, conforme equação 20, onde TLC equivale ao transporte ao longo da costa.

A Equação 22 apresenta a fórmula do balanço de sedimentos utilizada pelo SBAS.

$$\Sigma Q_{\text{fonte}} - \Sigma Q_{\text{perda}} - \Delta V + P - R = \text{Resíduo} \quad (22)$$

na qual todos os termos são expressão de volume ou taxas de mudanças volumétricas;  $\Sigma Q_{\text{fonte}}$  e  $\Sigma Q_{\text{perda}}$  são os ganhos e perdas do controle de volume, respectivamente;  $\Delta V$  é a mudança de volume geral da célula, e P e R são os volumes de sedimento colocados ou retirados da célula costeira, respectivamente. O Resíduo representa o grau de balanço da célula.

### 1.3. HIPÓTESES DE ESTUDO

A região de estudo compreende uma enseada localizada no litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina. Balneário Camboriú caracteriza-se pela presença de dois promontórios, Ponta das Laranjeiras e da Ponta da Preguiça que limitam a enseada.

Após a década de 70, o município sofreu uma grande expansão imobiliária, sendo considerado hoje, o maior balneário do sul do país. Entretanto, o grande desenvolvimento não foi conduzido de forma ordenada, trazendo muitos problemas aos residentes, veranistas e turistas. Dentre estes problemas pode-se citar: a) baixa balneabilidade das águas da enseada;

b) falta de insolação na praia no período vespertino, devido a construção de edifícios com mais de 30 pavimentos; c) falta de espaço para os banhistas na praia em decorrência da superlotação nos meses de verão.

Em virtude destes problemas, a prefeitura municipal, nos últimos anos, vem promovendo esforços junto ao governo federal com o propósito de realizar um projeto do município para alimentação artificial da praia, com o objetivo de ampliar em 100 metros a sua largura, de modo a conter possíveis problemas erosivos, bem como ampliar o espaço físico da área de lazer e o desenvolvimento da indústria de turismo.

A hipótese principal do trabalho é investigar se existe equilíbrio natural no balanço de sedimentos arenosos da enseada de Balneário Camboriú.

As hipóteses secundárias são:

- a. Ocorre troca de sedimentos entre a zona de surfe e a antepraia inferior;
- b. Os perfis praias encontram-se em equilíbrio;
- c. O perfil em planta encontra-se em equilíbrio estático ou dinâmico;
- d. A retirada de sedimentos pelos banhistas contribui ao desequilíbrio no balanço de sedimentos da praia.

Nesse sentido, será desenvolvida nesta Tese uma análise morfológica, sedimentar e hidrodinâmica da enseada de Balneário Camboriú, para investigar as principais fontes e perdas de sedimentos, e deste modo verificar se existe equilíbrio natural ou não no balanço de sedimentos desta enseada.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo Geral**

Análise do balanço de sedimentos arenosos na enseada de Balneário Camboriú – SC.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Descrever a sedimentologia da praia e antepraia da enseada de Balneário Camboriú – SC;

- Definir o padrão de evolução da linha de costa na praia central de Balneário Camboriú;
- Verificar se os modelos de perfil de equilíbrio propostos por Dean (1977) e Rodrigues (1995) se ajustam aos perfis de uma praia de enseada como Balneário Camboriú;
- Definir o padrão de transporte de sedimentos na enseada de Balneário Camboriú;
- Definir a importância do transporte de sedimento pelos banhistas para fora do sistema praias no balanço sedimentar da praia central de Balneário Camboriú.

## **1.5 Estrutura da Tese**

Este trabalho será apresentado em sete capítulos, como se descrevem brevemente, (1) Introdução, Fundamentação teórica, Objetivos e Área de estudo; (2) Sedimentologia; (3) Morfologia; (4) Perfil de equilíbrio Praial; (5) Transporte de sedimentos; (6) Perda de sedimentos através dos banhistas; (7) Balanço Sedimentar; e (8) Considerações Finais.

## **1.6 ÁREA DE ESTUDO**

### **1.6.1 Localização Geográfica**

A praia de Balneário Camboriú (Figura 11), localizada no litoral centro-norte de Santa Catarina, possui orientação na direção NW – SE, com extensão de 5838 metros e largura média de 17 metros (Temme *et al.*, 1997). Nesta área, ocorre o afloramento de rochas cristalinas do Pré-Cambriano (Mühe, 1998) e a presença de uma ilha em sua porção central (Ilha das Cabras), fazendo com que a praia apresente a forma de um arco limitada por dois promontórios rochosos, a Ponta da Preguiça ao norte e Ponta das Laranjeiras ao sul.

Na porção sul ocorre a presença do Rio Camboriú com uma extensa planície de maré e descarga média de 6 m<sup>3</sup>/s (Schettini *et al.*, 1996). Como é utilizado de via de acesso, a atracadouros e marinas localizados a montante de sua foz, necessita de canal de acesso permanentemente desobstruído (INPH, 2000). Ao norte situa-se o Canal do Marambaia, utilizado como despejo de dejetos orgânicos (Schettini *et al.*, 1996).

Segundo Temme *et al.* (1997), a praia de Balneário Camboriú, composta por areia fina a muito fina, apresenta diâmetro médio de grão de 0,16 mm e declividade de 0,85 a 2,80 graus. A parte central da praia é constituída de cúspides praias de 15 à 20 metros, sendo estas

feições resultado da presença da ilha no local que diminui a energia das ondas. A zona de surfe possui largura de 5 à 110 metros aumentando do sul em direção ao norte com ausência de bancos submersos.

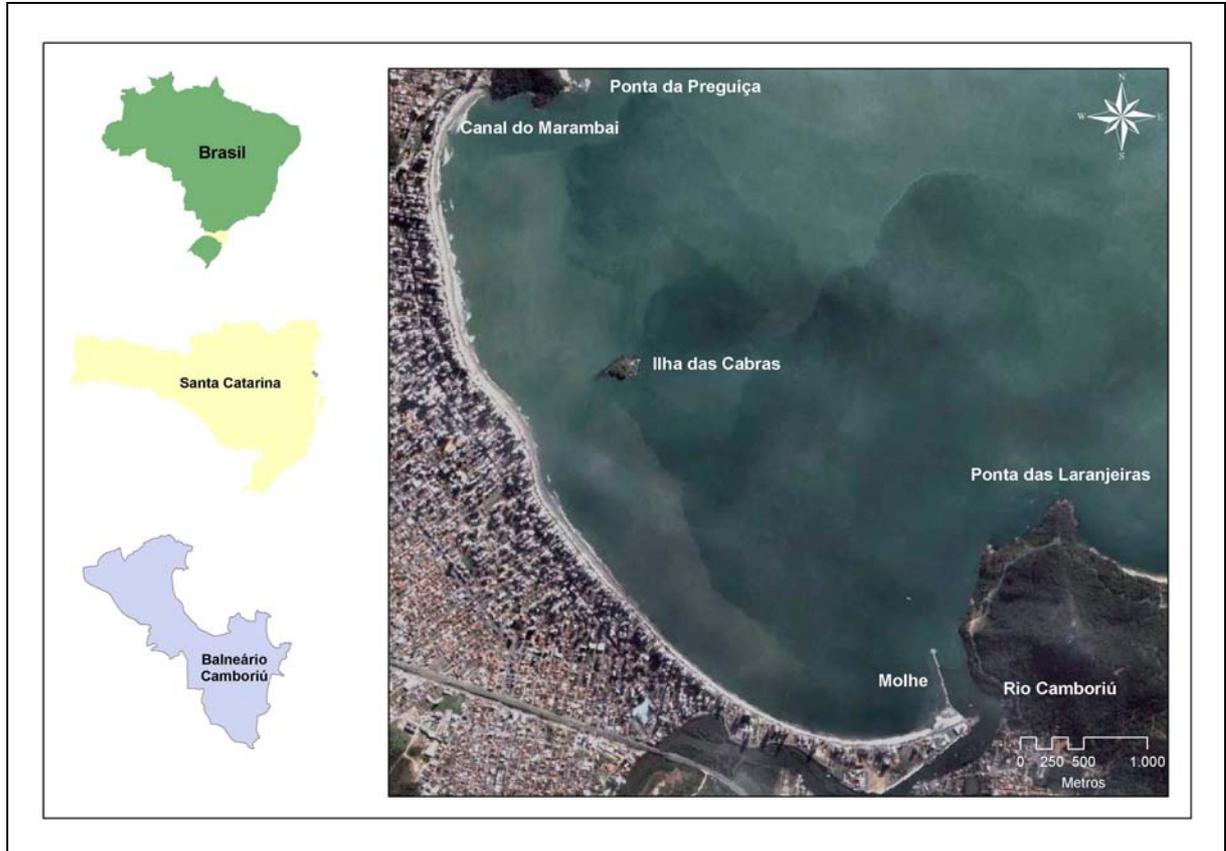


Figura 11 - Mapa de localização da área de estudo.

### 1.6.2. Limites Físicos da Área de Estudo

Os limites físicos que serão utilizados para a análise do balanço sedimentar da praia de Balneário Camboriú são os promontórios rochosos localizados no norte (Ponta da Preguiça) e sul (Ponta das Laranjeiras) da praia.

A análise sedimentar será realizada em 19 compartimentos costeiros que serão chamados de *Células*. A praia que foi dividida em 15 células costeiras de 400 metros de extensão cada uma, contendo na sua porção central um perfil que se estende desde a praia até a antepraia. A antepraia inferior até a profundidade de 12 metros foi considerada uma célula. E a desembocadura de dois sistemas fluviais que chegam até a enseada, o rio Camboriú e o canal do Marambaia nos extremos sul e norte da praia respectivamente representando outras duas células, além do continente como uma célula que limita a praia a oeste (Figura 12).

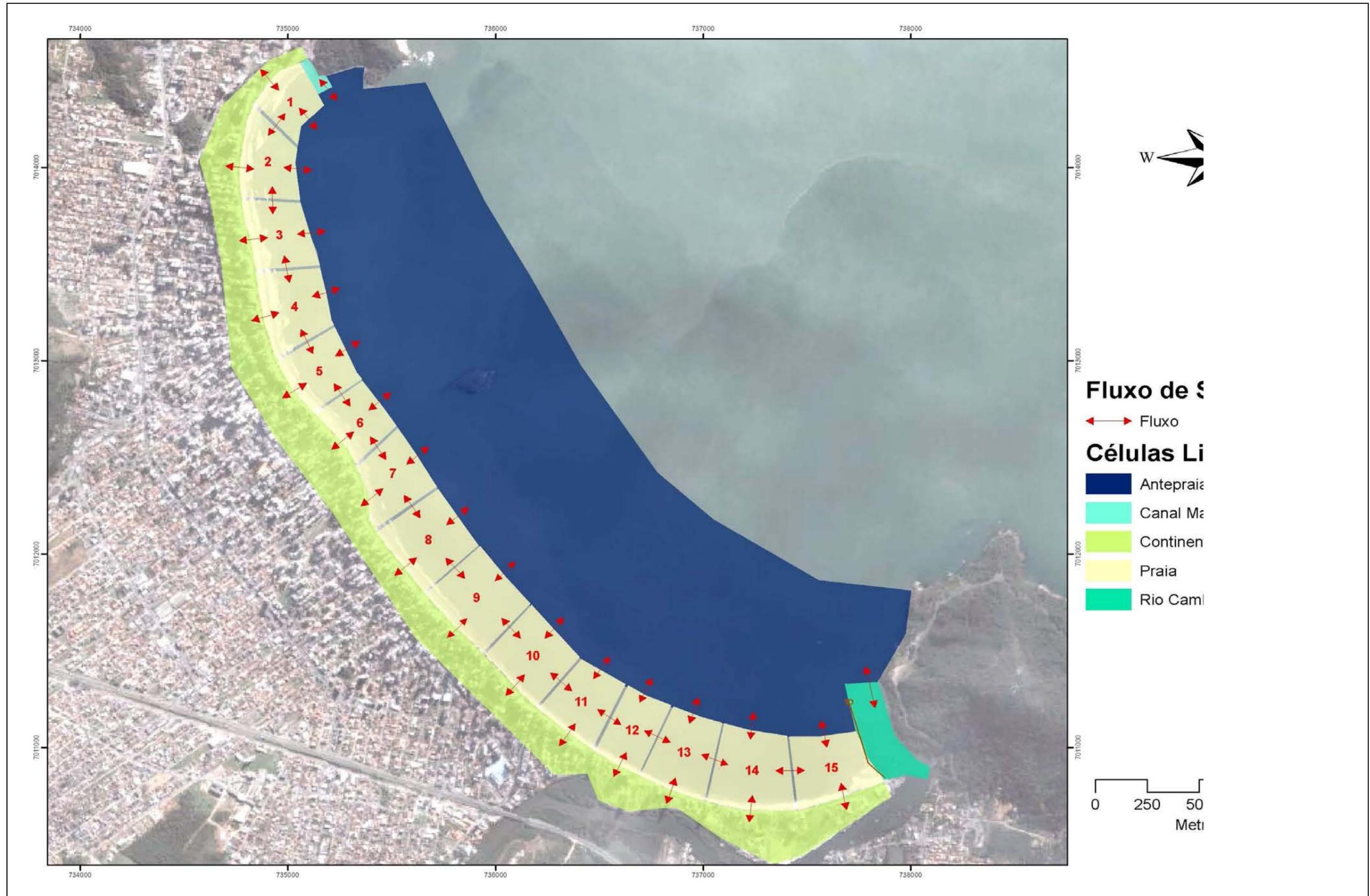


Figura 12 - Compartimentos costeiros ou células costeiras que servem como limites físicos para o estudo do balanço sedimentar de Balneário Camboriú.

### **1.6.3 Zona Costeira de Santa Catarina**

#### **1.6.3.1 Geologia e Geomorfologia**

O litoral centro-norte de Santa Catarina é formado por rochas do Embasamento Cristalino constituído por formações de idade Pré-Cambriana e Eo-Paleozóica (Gré, 1983). Além do Embasamento Cristalino o litoral é constituído pela Planície Costeira, na qual ocorre a predominância de depósitos inconsolidados ou fracamente consolidados de areias, siltes, argilas ou conglomerados (Scheibe, 1986). Segundo Caruso & Araujo (2000), o embasamento cristalino aflora no litoral formando cordões e promontórios rochosos interrompendo a continuidade da planície costeira quaternária, caracterizando o litoral pela presença de praias de enseadas, dentre elas, a praia de Balneário Camboriú, onde a Serra do Mar desce e mergulha no Atlântico.

No geral, a região de Balneário Camboriú à Itapema é composta por praias arenosas holocênicas, recobertas por sedimentação eólica, ancoradas na antiga linha de costa pleistocênica. (Caruso & Araujo, 2000).

Petterman (2005) confeccionou um mapa geológico para o município de Balneário Camboriú sintetizando informações publicadas por Caruso *et al.* (2000) (Figura 13). Mostrando que a praia central de Balneário Camboriú é composta basicamente de sedimentos holocênicos formada por depósitos marinhos/eólicos e depósitos paludiais/paleolagunares.

#### **1.6.3.2 Clima**

A Figura 14 caracteriza a circulação atmosférica da região que é dominada por um sistema semifixo de alta pressão denominada Anticiclone do Atlântico Sul. Em situação normal, apresenta direção predominante do vento de nordeste com velocidade média anual de 5m/s (Figura 14A). Porém, há ocorrência de ventos de direção sul associados a frentes frias originadas do Anticiclone Móvel Polar onde as velocidades atingem 8m/s (Figura 14B) (Nobre *et al.*, 1986 e Truccolo, 1998). Essas frentes frias são associadas ao escoamento ondulatório de grande escala, intensificando-se ou dissipando-se de acordo com as características atmosféricas sobre o continente (Nimer, 1989). O Anticiclone Móvel Polar pode fundir-se com o Anticiclone do Atlântico Sul ao avançar em direção ao norte ou pode ainda estacionar nas regiões sul e sudeste do Brasil. Quando isto ocorre, ondula e gera depressões atmosféricas secundárias que se deslocam em direção ao oceano (Figura 14D) (Truccolo, 1998).

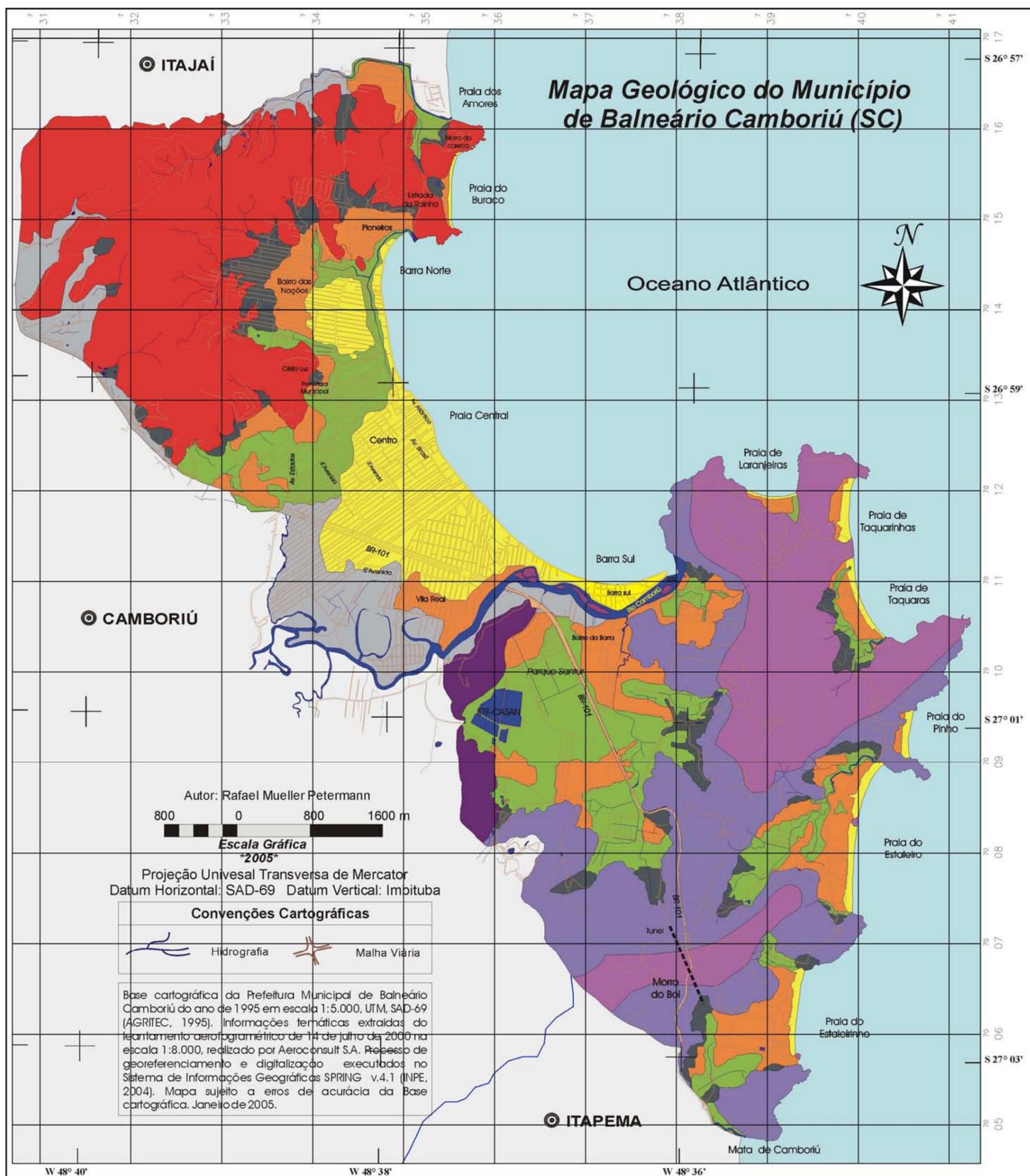


Figura 13 - Mapa geológico para o município de Balneário Camboriú (Petermann, 2005).

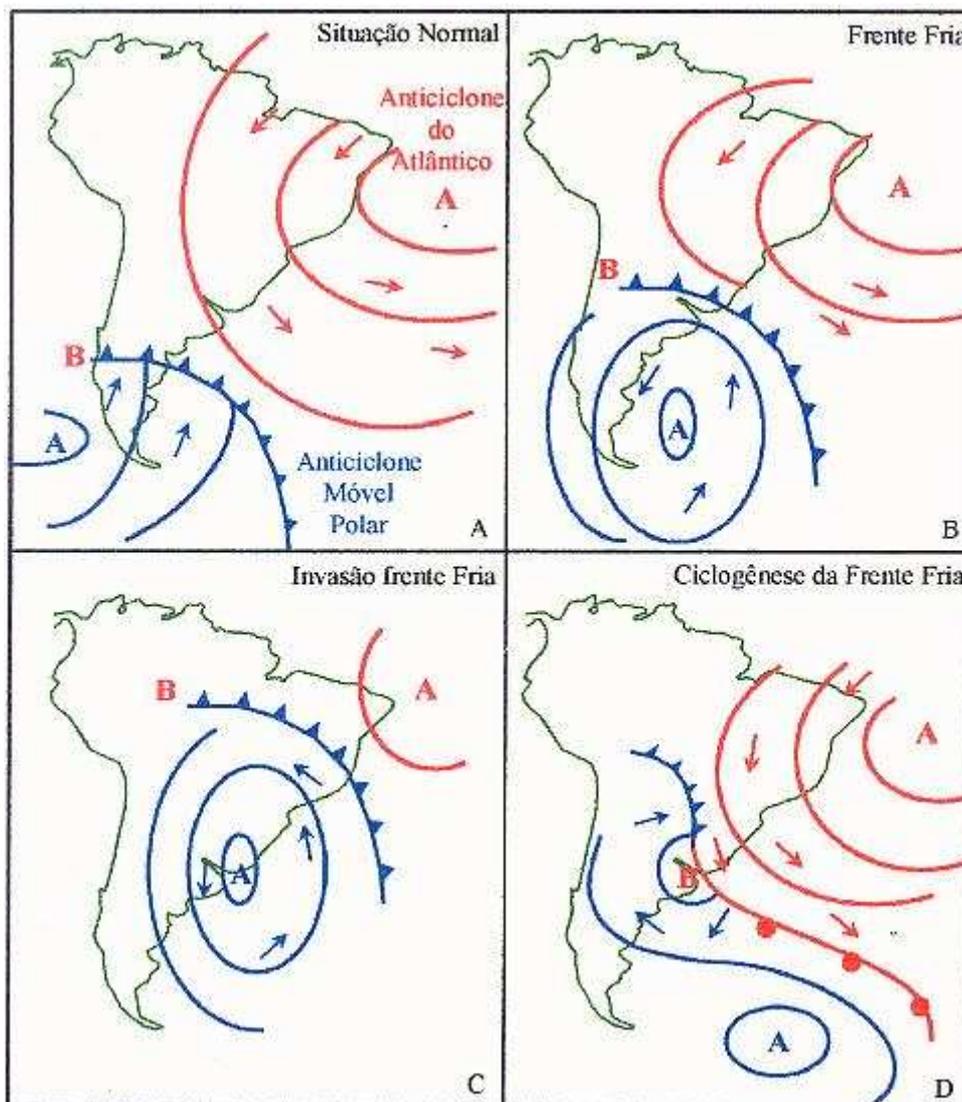


Figura 14 - Circulação atmosférica no sul do Brasil e sua alteração devido à entrada de frentes frias: (a) situação normal; (b) geração da frente fria; (c) invasão da frente fria; (d) ciclogênese da frente fria. A – alta pressão, B – baixa pressão (DHN, 1994 apud Truccolo, 1998)

### 1.6.3.3 Clima de Marés e Ondas

Santa Catarina é constituída por micro-marés semidiurnas, com desigualdades de 0,8 a 1,2 metros, podendo ser influenciada por marés meteorológicas que ocasionam uma elevação de até 1 metro em relação ao nível médio relativo do mar (Schettini *et al.*, 1996 e Truccolo, 1998). Para Balneário Camboriú, os níveis d'água máximo, médio e mínimo medidos com o aparelho S4, foram de 1,16m, 0,19m e – 0,49m, respectivamente, em relação ao nível de redução da DHN do porto de Itajaí (INPH, 2000).

Com o auxílio de um ondógrafo direcional fundeado a uma profundidade de 80 metros, a 35 quilômetros a leste de Florianópolis (SC), Araújo *et. al.* (2003) com dados coletados entre dezembro de 2001 e janeiro de 2003, identificaram espectros de onda multimodais (2 ou 3 modas), indicando a ocorrência simultânea de vagas (*sea*) e ondulações (*swell*). Este espectro de onda multimodal foi mais freqüente no verão (43%) do que no inverno (24%).

Na primavera, as ondas provenientes de leste predominaram sobre os outros estados de mar. No verão houve um equilíbrio entre as ondulações provenientes de leste e os vagalhões oriundos de sul. No outono, vagalhões de sul dominaram, porém ocorreram ondas provenientes de leste e sul. No inverno, vagalhões provenientes de sul prevaleceram sobre todas as outras condições de mar. (Araújo *et. al.*, 2003) (Figura 15).

Generalizando, ondulações provenientes de leste com período de pico de 8 segundos e altura significativa de 1,25m, e vagalhões com período de 12 segundos, provenientes de sul e 1,55m de altura significativa, com aumento da altura significativa do verão para o inverno foram os principais regimes de ondas identificados por Araujo *et. al.*, 2003.

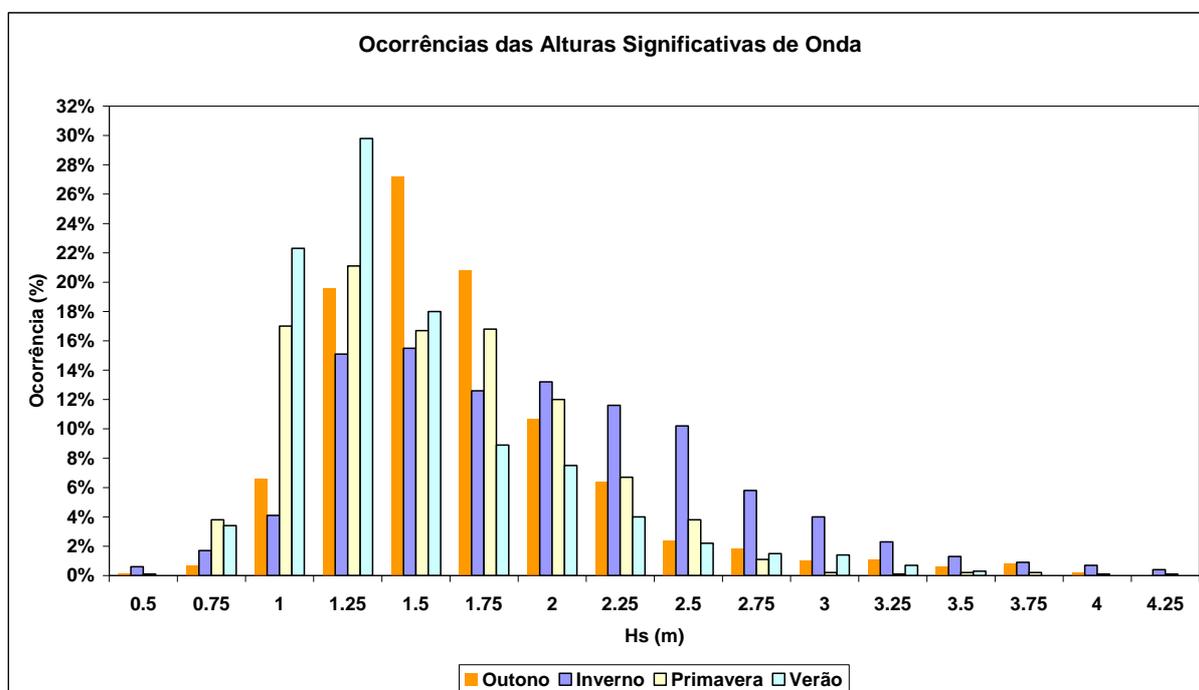


Figura 15 - Distribuição sazonal das alturas significativas de ondas (Araújo *et. al.*, 2003).

O resumo dos valores espectrais de onda obtidos por Araujo *et. al.*, (2003) estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Valores espectrais de ondas. Hs – altura significativa (m) , Tp – período de pico (s),  $\theta$  – direção de proveniência, % - porcentagem de ocorrência (Araújo *et. al.* 2003).

Média Anual dos Valores de Ondas (por estação)									Ondulações de Tempestades					
Estação	Vaga				Ondulação				Estação	Vaga/Ondulação				
	Hs	Tp	$\theta$	%	Hs	Tp	$\theta$	%		Hs	Tp	$\theta$	%	
Primavera	1.25	8.00	NE	9%					Primavera	2.00	9.00	E	5%	
	1.25	8.00	E	27%						2.00	9.00	NE	3%	
	1.25	8.00	SE	7%	1.50	11.0-12.0	SE	10%		2.50	12.00	SE	6%	
	1.25	8.00	S	5%	1.50	11.0-12.0	S	12%		3.00	12.00	S	3%	
					1.50	14.00	SE	2%						
			48%										17%	
Verão	1.25	7.00	NE	8%					Verão	2.00	9.00	E	3%	
	1.25	8.00	E	27%						2.50	12.00	SE	3%	
					1.25	11.0-12.0	SE	7%		3.00	12.00	S	2%	
					1.25	11.0-12.0	S	27%						
					2.00	14.00	SE	2%						
				2.00	14.0-15.0	S	6%							
			35%										8%	
Outono	1.25	7.00	NE	3%					Outono	2.00	9.00	E	4%	
	1.25	8.00	E	16%						2.00	9.00	NE	1%	
	1.25	8.00	SE	6%	1.5-1.75	12.00	SE	13%		2.50	12.00	SE	2%	
	1.25	8.00	S	6%	1.5-1.75	12.00	S	28%		3.00	12.00	S	2%	
					1.75	14.00	SE	2%						
				1.75	14.00	S	3%							
			31%										9%	
Inverno	1.25	8.0-9.0	NE	1%					Inverno	2.00	9.00	E	9%	
	1.25	8.0-9.0	E	12%						2.50	9.00	E	2%	
	1.25	8.00	SE	3%	1.75-2.0	12.00	SE	12%		3.00	9.00	E	2%	
	1.25	8.00	S	3%	1.75-2.0	12.00	S	20%		3.50	9.00	E	1%	
					1.50	14.00	SE	2%		2.00	9.00	NE	3%	
				1.50	14.00	S	2%	2.50	12.00	SE	7%			
								3.00	12.00	S	7%			
			19%										31%	

Segundo INPH (2000), Balneário Camboriú apresenta efeito dominante de ondas de NE e E. Entretanto, ressaltam que as ondas geradas de SE e S possuem um maior poder de transporte, o que faz predominar a movimentação de sedimento no sentido norte da praia. O período médio de ondas da região foi de 6,86s e direção média do clima de ondas de 79 graus. Segundo Temme *et al.* (1997), as ondas com maior altura são verificadas na porção central da praia, variando de 0,2 a 2 metros de

altura, considerando que, por ser uma praia semiprotégida, a maior parte da energia das ondas é dissipada antes de atingirem a costa. Pode-se acrescentar que a energia das ondas é maior na porção norte da enseada, devido a maior exposição à energia das ondas vindas do quadrante sul e sudeste.

Segundo INPH (2000), em medições realizadas com o aparelho S4, a velocidade média de correntes marítimas na enseada foi de 7,32 cm/s e direção média de 345,4 graus em relação ao norte verdadeiro.

#### **1.6.3.4 Plataforma Continental Interna**

Gré (1983) analisando a sedimentologia da plataforma continental de Santa Catarina destaca que, no geral, os sedimentos da plataforma interna e média são predominantemente terrígenos, enquanto os sedimentos da plataforma continental externa apresentam composição biogênica; no geral, são influenciados por flutuações do nível do mar durante episódios glácio-eustáticos ocorridos após o período Pleistoceno.

Segundo Abreu (1998), a plataforma continental interna do litoral centro-norte de Santa Catarina apresenta relevo suave de baixos gradientes, é relativamente estreita, medindo de 30 e 45km de extensão entre as isóbatas de -2 e -50m. A cobertura sedimentar é composta de cinco litofácies: arenosa com cascalhos biodetríticos, arenosa, areno-lamosa, lamo-arenosa e lamosa. A fácies arenosa com cascalhos biodetríticos ocupa uma faixa contínua paralela à costa entre 35 e 45m de profundidade. A fácies arenosa predomina na porção norte da área distribuindo-se entre a isóbata de -40m do limite setentrional até a região da Ponta da Vigia. Também ocorre esta fácies ao norte da desembocadura do rio Itajaí-Açu em frente à localidade de Gravatá, município de Navegantes, sendo que este depósito estende-se para o sul até o município de Balneário Camboriú. Entre os rios Itajaí-Açu e Tijucas, ocorre um predomínio de sedimentos finos da fácies lamosa desde as proximidades da costa até a transição para a plataforma externa. Os sedimentos areno-lamosos e lamo-arenosos ocupam a porção a partir da profundidade de 45m.

A plataforma continental em frente à praia de Balneário Camboriú possui distância a partir do litoral a batimétrica de -50 metros de 51 km na direção NE, 38,5km na direção E e 47km na direção SE. Na isóbata de -100m, estas distâncias aumentam para 260km à NE, 103 km à E e 85,5 km a SE (INPH, 2000).

### 1.6.3.5 Rio Camboriú

O Rio Camboriú com aproximadamente 40km de extensão, drena uma bacia de aproximadamente 200km<sup>2</sup> que compreende dois municípios, Camboriú e Balneário Camboriú. As principais atividades nas áreas de entorno da Bacia são a agricultura e a pecuária. Sendo que em alguns trechos do rio existe a extração de areias por pequenas balsas (Figura 16) (Siegle, 1999).

Silva & Schettini (1997) calcularam uma vazão média para o rio Camboriú de 3,1m/s. Siegle (1999) calculou a contribuição de sedimentos em suspensão do rio Camboriú para a plataforma interna durante os períodos de maré de quadratura (6.900kg) e maré de sizígia (32.400kg). Segundo Abreu et. al. (2003) o rio Camboriú não contribui com sedimentos arenosos para a praia de Balneário Camboriú, devido a construção de uma barragem no rio que acabou servindo como armadilha para muito destes sedimentos.



Figura 16 - Draga para extração de areia no rio Camboriú (Siegle, 1999).

### 1.6.3.6 Alimentação Artificial e Construção do Molhe

Em 2000, o Instituto Nacional de Pesquisas Hidrográficas (INPH) realizou estudos, para um projeto de alimentação artificial da praia de Balneário Camboriú, através de uma proposta com dados preliminares coletados durante uma campanha de duas semanas. O INPH apresentou o projeto, porém salientou à prefeitura que se

tratava de uma etapa inicial e que outros estudos e coletas de dados deveriam ser realizados para a finalização do mesmo.

Entretanto, a prefeitura de Balneário Camboriú resolveu em 2002 iniciar uma obra de alimentação artificial na porção sul da praia utilizando para isso sedimentos retirados da desembocadura do Rio Camboriú (Figura 17).



*Figura 17 -* Fotos da alimentação realizada pela prefeitura de Balneário Camboriú no ano de 2002 (fotos: Glaucio Vintem).

Também, nos meses de maio e junho de 2004 a prefeitura municipal iniciou a construção de um molhe na porção sul da praia de Balneário Camboriú. Este molhe foi constituído de duas partes com um comprimento total de 451m. A primeira parte possui um comprimento de 100m e um ângulo de 80° com a linha da praia. A segunda parte se estende por 351m e forma um ângulo a direita da primeira parte (Figura18).

Segundo o INPH (2000) a construção do molhe teve vários objetivos:

- Bloquear o transporte de areia da praia para a desembocadura do Rio Camboriú;
- Manter o canal de navegação do rio para a instalação de uma marina no Rio Camboriú;
- Criar uma reclamação de terra, para a construção de uma marina futura junto à desembocadura do Rio Camboriú;
- Impedir que possível água de esgoto que venha do Rio Camboriú adentre à área de banho da enseada de Balneário Camboriú.

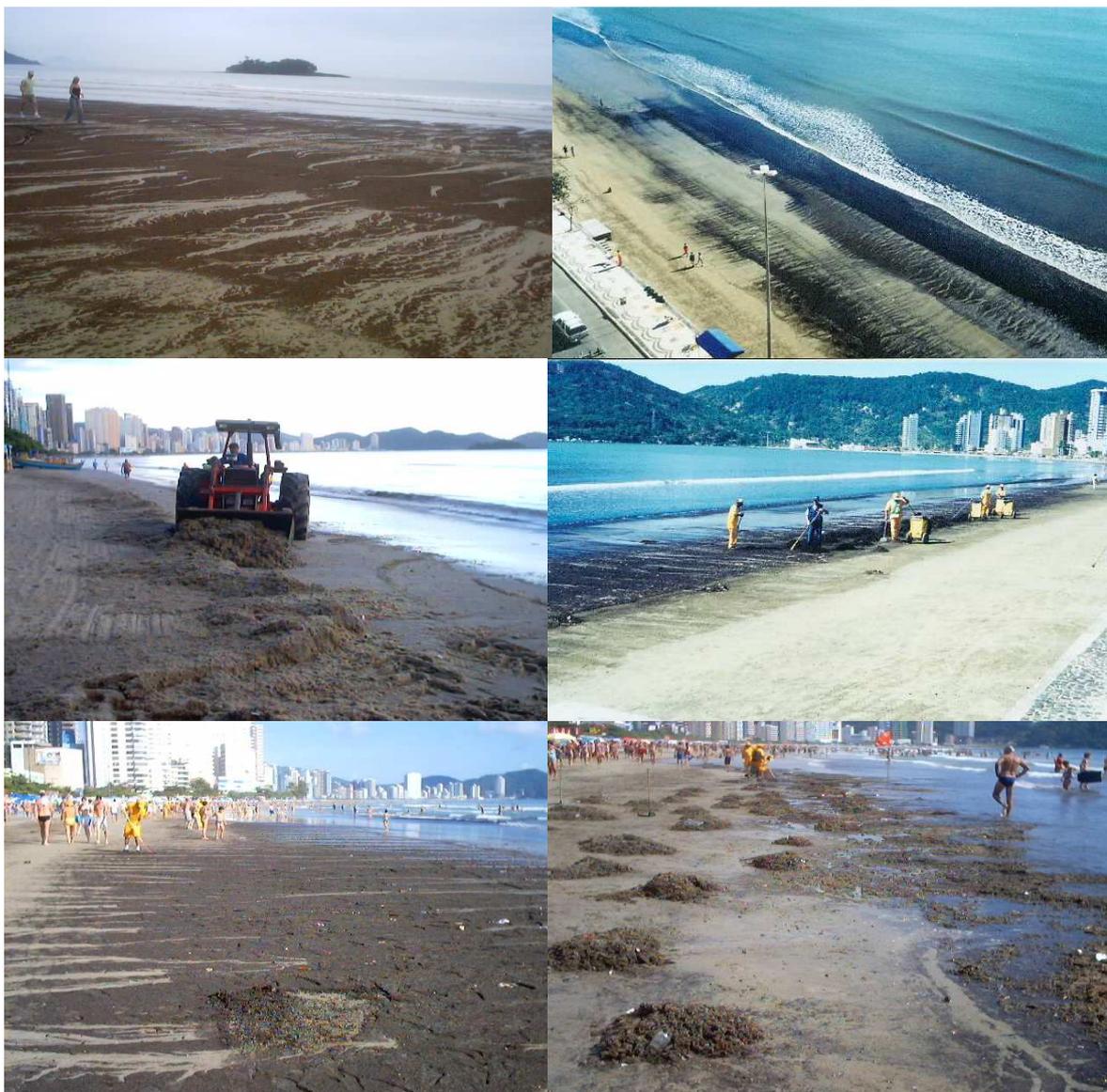


Figura 18 - Construção do molhe no sul da enseada de Balneário Camboriú em maio e junho de 2004 respectivamente.

A alimentação artificial da praia foi realizada em várias etapas entre os anos de 2002 e 2006, sempre retirando sedimentos do leito do Rio Camboriú e da sua desembocadura. O volume total utilizado na alimentação artificial foi de aproximadamente 200.000m<sup>3</sup> cúbicos de sedimento.

Devido às obras, realizadas pela prefeitura, terem sido executadas sem nenhum estudo prévio, e o sedimento utilizado nas alimentações artificiais não ser compatível com o da praia, muitos problemas podem ser observados hoje na praia de Balneário Camboriú, dentre eles podemos citar:

- Aparecimento de toneladas de bivalvos e briozoários mortos na praia, supostamente em decorrência da grande quantidade de sedimentos finos existentes no sedimento utilizado na alimentação artificial (Pezzuto *et. al.*, 2004) (Figura 19);
- Alteração das características morfológicas e morfodinâmicas na porção sul da praia pela incompatibilidade do sedimento utilizado na alimentação;
- Ineficiência do molhe construído para a estabilização da desembocadura do rio Camboriú;
- Ancoragem de toneladas de serrapilheira na praia, resultante do material utilizado na alimentação (Figura 19).



*Figura 19 -* Fotografias mostrando os bivalvos, briozoários e serrapilheira arribados à praia (fotos: Coneville).

## Capítulo 2 – Sedimentologia

### 2.1 Introdução

Bascom (1951) mostrou que a variação do tamanho de grão em uma praia estaria relacionada ao grau de exposição à energia das ondas, quanto maior a exposição maior seria o tamanho de grão. Nordstrom (1981) conclui que o tamanho de grão não varia com a altura da onda e sendo mais importante a fonte de sedimentos. A mesma teoria foi comprovada por Short (1999).

A descrição da sedimentologia de uma região é o primeiro passo para se compreender o balanço sedimentar da mesma. Para caracterizar a sedimentologia da praia e antepraia de Balneário Camboriú, neste capítulo serão apresentadas a localização dos pontos amostrais, bem como a metodologia de análise, resultados e discussão dos mesmos.

### 2.2 Materiais e Métodos

#### 2.2.1 Praia

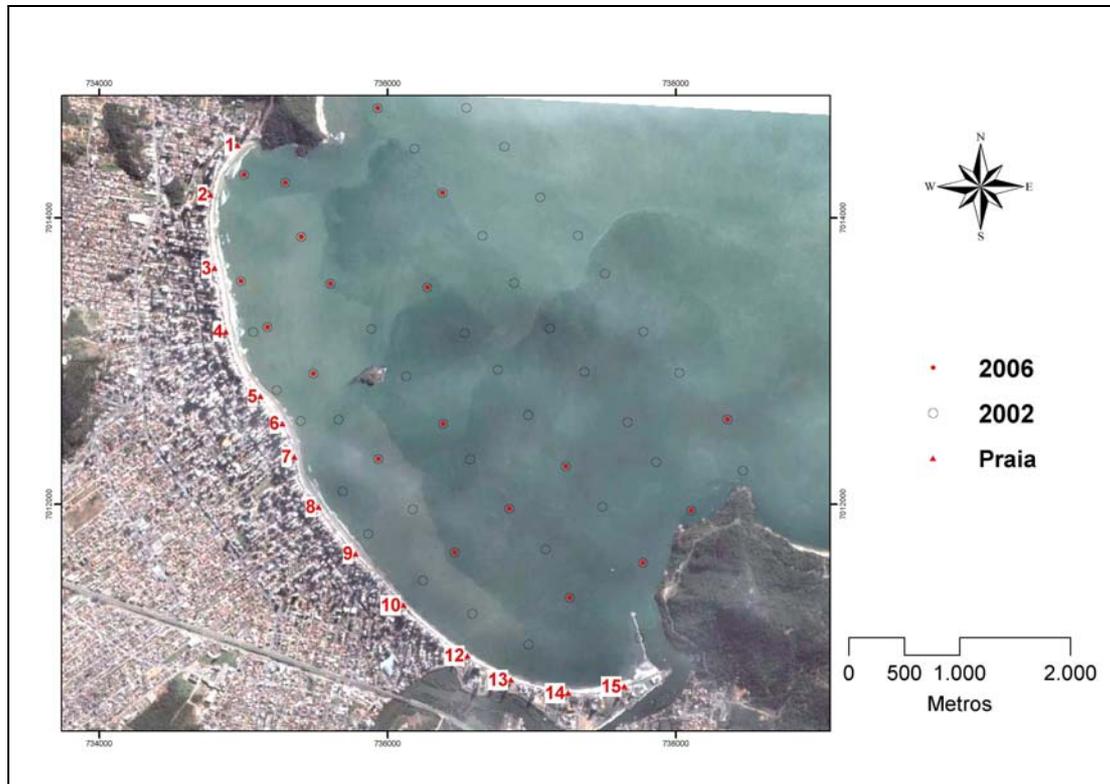
Para a caracterização sedimentológica da praia de Balneário Camboriú foram coletadas amostras, nos anos de 1994 e 2006. As coletas foram realizadas de forma pontual e repetidas nos mesmos locais, ao longo da porção média da zona de espraiamento. Os pontos amostrais foram separados a uma equidistância de 400 m e numerados a partir da extremidade norte da enseada, totalizando 15 amostras coletadas para cada data (Figura 20).

As amostras foram coletadas manualmente, em uma camada com espessura uniforme de 20 cm de sedimento, acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e transportadas ao Laboratório de Geologia e Sedimentologia da UNIVALI, onde foram realizadas as análises sedimentológicas.

#### 2.2.2 Antepraia

Para a caracterização sedimentar da enseada de Balneário Camboriú, foram realizados dois levantamentos, em maio de 2002 e outubro de 2006, nos quais foram coletadas 56 e 28 amostras de sedimento, respectivamente (Figura 20). Em 2002

utilizou-se um busca fundo do tipo “petit ponar” e em 2006 foi utilizado o mergulho submarino para a coleta. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e encaminhadas ao laboratório para a realização das análises laboratoriais.



**Figura 20** - Localização das estações de coleta dos sedimentos na praia (1994 e 2006) e enseada (2002 e 2006) de Balneário Camboriú.

### 2.2.3 Análises Laboratoriais e Estatísticas

Em laboratório, as amostras de sedimento foram lavadas com água destilada para a retirada completa de sais solúveis e secas em estufa a uma temperatura aproximada de 60°C. Após secas foram quarteadas para a obtenção de sub-amostras representativas. Aproximadamente 40g foram utilizadas para a análise granulométrica dos sedimentos.

A fração de sedimentos grossos da amostra ( $\geq 0,062\text{mm}$ ) foi submetida ao processo de peneiramento mecânico por 20 minutos e a fração fina ( $<0,062\text{mm}$ ) foi analisada segundo o método da pipetagem (Suguio, 1973).

O tratamento estatístico das amostras de sedimentos foi realizado através do método dos momentos de Folk & Ward (1957), utilizando o programa SIGA (Santiago *et. al.*, 2003).

Para todas as amostras foram calculados os parâmetros estatísticos; média, mediana, desvio padrão, assimetria e curtose.

## **2.3 Resultados e Discussão**

Os dados sedimentológicos são apresentados separadamente para a praia e antepraia da enseada de Balneário Camboriú.

### **2.3.1 Sedimentologia da Praia**

As propriedades texturais dos sedimentos coletados na praia de Balneário Camboriú, relativas aos anos de 1994 e 2006, estão sumarizados na Tabela 3.

Comparativamente, os resultados encontrados mostram que não houve uma alteração nos parâmetros estatísticos entre os dois períodos de coleta. A praia é caracterizada por grãos de tamanho de areia fina a muito fina, com seleção boa a moderada, e curtose variando de mesocúrtica a leptocúrtica. A assimetria predominantemente negativa está em acordo com o padrão de comportamento de amostras coletadas na face da praia, local que se encontra sob influência do espraiamento das ondas e que resultam no fenômeno de “*winnowing*” (Suguio, 1973), ou seja, de remoção mecânica dos grãos com tamanhos menores. Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos sedimentológicos realizados por Temme (1996), Menezes (1999), Klein & Menezes (2001), Miot da Silva (2003) e Benedet Filho (2000).

Klein (2004), em sua Tese de Doutorado sobre a morfodinâmica de praias de enseada, mostra que o padrão geral das praias catarinenses, com esta tipologia, apresenta baixos valores de declividades na região abrigada do promontório. Estas praias são compostas por grãos de tamanho areia fina a muito fina, com forma côncava e estreitas. A antepraia é constituída por areias muito finas e lama. Normalmente a antepraia tem uma declividade menor do que aquelas praias refletivas, e maiores declividades na região mais exposta a incidência das ondulações.

Salienta-se uma alteração nestes padrões, naquelas amostras coletadas no extremo sul da praia, amostras 14 e 15, para todos os parâmetros estatísticos. Este local corresponde à faixa da praia recomposta pela alimentação artificial que foi

realizada pela prefeitura municipal a partir de 2002. O mesmo padrão de alteração já havia sido descrito por Pezzuto *et al.* (2004), ao mostrarem uma grande variabilidade de tamanho nos sedimentos utilizados nesta obra, com a presença de muitas conchas e grandes porcentagens de lama.

Dentre as principais alterações associadas a alimentação artificial pode-se enumerar:

- 1) aumento do tamanho médio do grão para areia média a muito grossa, ocasionada pelo elevado conteúdo de fragmentos de concha no sedimento;
- 2) diminuição do grau de selecionamento, ocasionado pela presença de várias classes de tamanho de grão;
- 3) modificação da assimetria de muito positiva a muito negativa;
- 4) modificação da curtose, apresentando-se platicúrtica a muito platicúrtica.

As amostras coletadas em 1994 caracterizam-se por apresentar sedimentos arenosos, excetuando-se a amostra do perfil 05 que apresentou uma pequena porcentagem de cascalho da ordem de 2,8%. No ano de 2006 verifica-se o mesmo comportamento para a maioria das amostras, entretanto aquelas coletadas na porção sul da praia (Perfis 11 a 15) apresentaram pequena dispersão, pela inclusão de sedimentos mais finos e grosseiros nas amostras, evidenciando a alteração sedimentar associada com a alimentação artificial.

Tabela 3. Dados sedimentológicos das amostras coletadas na praia de Balneário Camboriú em 1994 e 2006.

1994	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Média ( $\phi$ )	2,4	2,6	2,8	2,8	2,8	3,0	2,9	2,9	2,8	2,5	3,0	3,0	3,1	2,9	3,1
D. Padrão( $\phi$ )	0,9	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,8	0,4	0,5	0,4	0,7	0,6
Assimetria	-0,5	-0,4	-0,1	-0,1	0,0	-0,3	-0,2	0,0	-0,2	-0,3	-0,1	-0,3	-0,1	-0,4	-0,4
Curtose	0,9	2,0	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,7	0,9	1,2	0,9	1,2	1,8
2006	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Média ( $\phi$ )	3,0	2,8	2,9	3,0	2,9	3,0	2,8	3,0	2,9	2,9	3,2	3,1	3,2	2,2	1,0
D. Padrão ( $\phi$ )	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,3	0,7	0,6	1,6	1,9
Assimetria	-0,1	-0,8	0,0	0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,6	-0,2	-0,5	-0,4	-0,7	0,2
Curtose	0,9	2,8	1,0	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	1,4	1,4	2,3	3,1	0,7	0,6

Descartando-se as alterações provocadas pela alimentação artificial no sul da praia, verifica-se uma pequena diminuição no tamanho de grão de sedimento da porção mais exposta, norte da praia, para a porção mais protegida. Este fenômeno de gradação lateral de sedimentos ao longo de praias de enseada já havia sido descrito

por Klein (2004), ao postular que praias em equilíbrio estático, muitas vezes mostram gradação lateral no tamanho de sedimentos, com areias finas e pobremente selecionadas na região abrigada pelo promontório à ação das ondas e areias mais grossas e melhor selecionadas na região mais exposta.

Segundo Miot da Silva *et. al.* (2006), quando o sedimento proveniente da fonte tiver um único tamanho de classe granulométrica, a curvatura da praia ou o nível de incidência da onda não vai influenciar na distribuição de tamanho de sedimento. Por outro lado, o gradiente pode se desenvolver onde não tem um suprimento sedimentar ativo (equilíbrio estático), e assim, os tamanhos das classes granulométricas podem ser selecionados pelo nível energético da onda.

### **2.3.2 Sedimentologia da Antepraia**

Os resultados de sedimentologia para a enseada de Balneário Camboriú estão caracterizados no Anexo 1.

A antepraia adjacente à praia de Balneário Camboriú, a partir das análises das amostras coletadas em 2002, apresenta-se caracterizada por quatro fácies granulométricas bem definidas:

- 1) areia muito fina;
- 2) areia fina;
- 3) Silte;
- 4) argila.

Verifica-se uma predominância da fácies areia muito fina, em profundidades inferiores a 4m para a região norte da praia. No extremo sul da área, esta fácies se estende até a profundidade de 12m. A praia é caracterizada por uma fácies areia fina (Figura 21).

Na porção leste/nordeste da enseada ocorre uma fácies de sedimentos finos (silte e argila), enquanto que a porção sudeste da enseada é caracterizada por uma fácies de areia fina, nas adjacências do promontório da Ponta das Laranjeiras.

Para o ano de 2006 as quatro fácies sedimentares ainda se fazem presentes na enseada de Balneário Camboriú, porém havendo uma grande diminuição da área de ocorrência da fácies argila, sendo substituída pela fácies silte. A fácies areia fina teve

um aumento no lado exposto da Ilha das Cabras, e um aumento característico da fácies silte na região sul da enseada, provavelmente associado aos tamanhos dos sedimentos utilizados na alimentação artificial da praia. A fácies areia fina não aparenta alterações, predominando no fundo da região adjacente a Ponta das Laranjeiras. A praia apresenta fácies areia fina predominantemente, exceção se faz na porção onde aparece uma fácies areia média em decorrência do material grosseiro (conchas) utilizado na alimentação artificial da praia neste local (Figura 21).

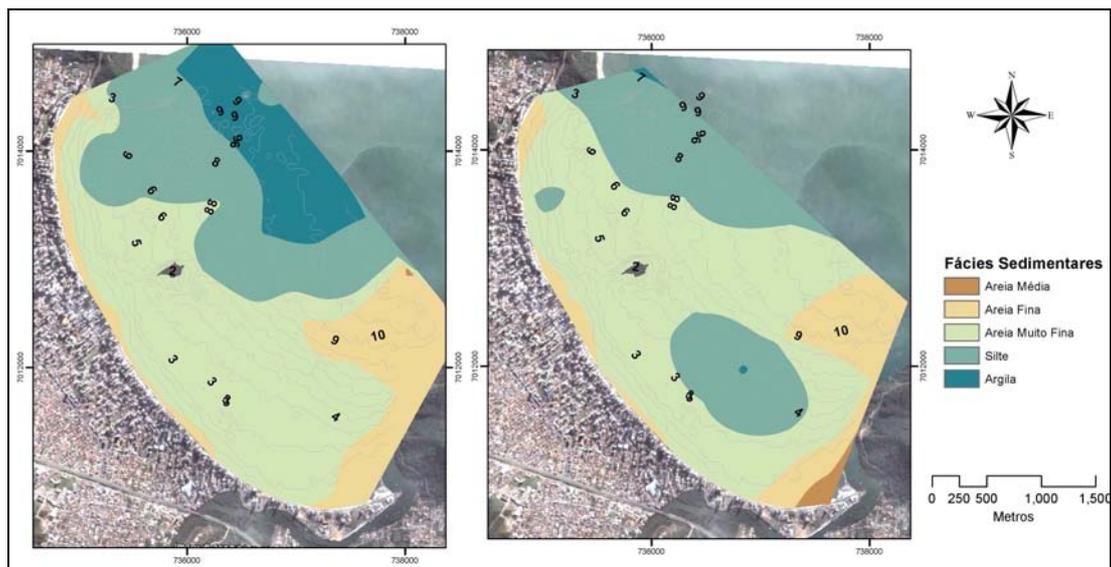


Figura 21 - Fácies sedimentares da enseada da praia central de Balneário Camboriú para os anos de 2002 (esq.) e 2006 (dir.).

Pejrur (1988) propõe uma classificação hidrodinâmica com base na distribuição dos teores de argila e areia presente nos sedimentos, para delimitar distintas áreas de seu diagrama. Por exemplo, a presença de sedimentos de fundo com percentagens de argila superiores a 80% são associados a ambientes de baixa energia, enquanto que teores de 20% de argila representam ambientes de energia mais elevada. As superfícies de fundo com 10% de argila ou 90% de areia são facilmente mobilizadas devido à perda do caráter coesivo neste tipo de distribuição de tamanhos de grãos.

Esta classificação permite descrever com bastante precisão os limites entre o fundo móvel, ou seja, fundo onde ocorre significativa taxa de erosão e transporte de sedimentos, e o fundo onde prevalecem as condições deposicionais. Para a enseada de Balneário Camboriú o diagrama de Pejrup se assemelha ao mapa de fácies (Figura

21), demonstrando porcentagens de areia inferiores a 10 % para a região nordeste e leste, e valores superiores a 90% na porção sudeste da enseada (Figura 22).

A Figura 23 apresenta a variação das porcentagens de silte (esquerda) e argila (direita) na enseada de Balneário Camboriú entre as amostragens realizadas nos anos de 2002 e 2006. Verifica-se, um aumento na porcentagem de silte e argila para quase todo o fundo da enseada, com aumento de até 36% e 60% para os tamanhos de silte e argila, respectivamente, em regiões próximas à praia.

Estas variações texturais coincidem com o início da obra de alimentação artificial da praia, no extremo sul da praia a partir de 2002, para o alargamento da faixa de areia. Os sedimentos utilizados na alimentação são provenientes do leito e desembocadura do rio Camboriú, os quais apresentam porcentagens elevadas de sedimentos finos.

Pezzuto *et al.* (2004) analisaram o sedimento utilizado na alimentação artificial na praia em 2002. Os sedimentos possuíam 30% de silte e argila e 7,2% de material cascalhoso, enquanto que o sedimento nativo da praia possuía 98,2 % de areia e 0,2% de cascalhos. Os autores salientam ainda que análises realizadas na praia após a alimentação mostraram um sedimento com 90,2 % de areia média e 9,6% de material cascalhoso, mostrando que o silte e a argila foram transportados para o fundo da enseada alterando a sedimentologia desta área (Figura 23).

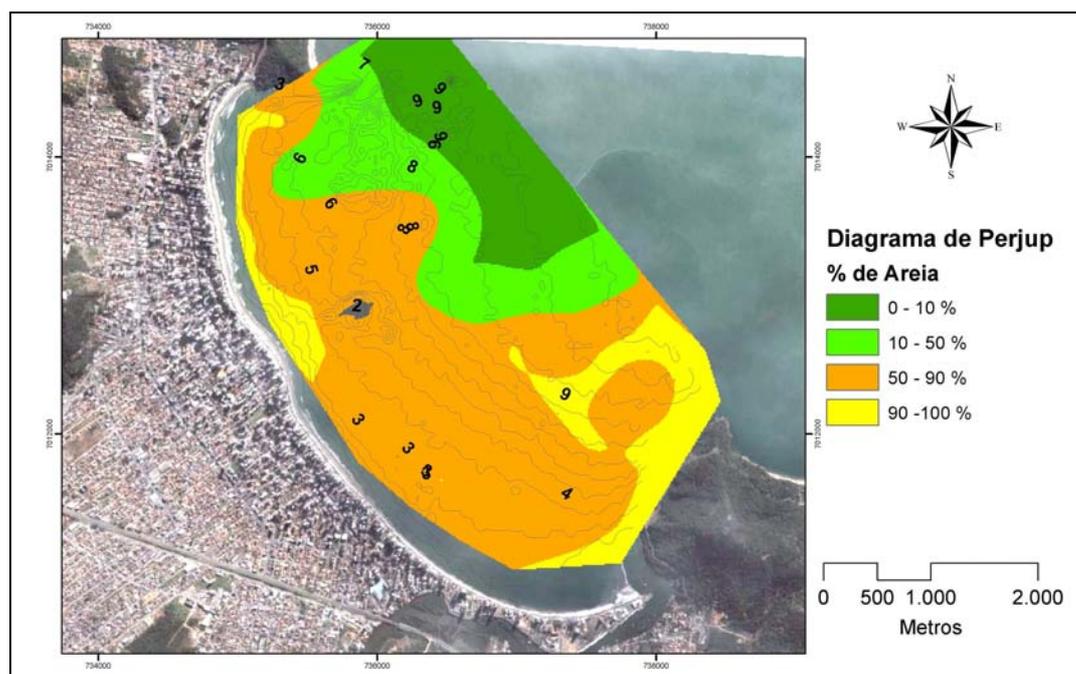


Figura 22 - Mapa de distribuição dos sedimentos de fundo, através do diagrama de Perjup para a enseada de Balneário Camboriú.

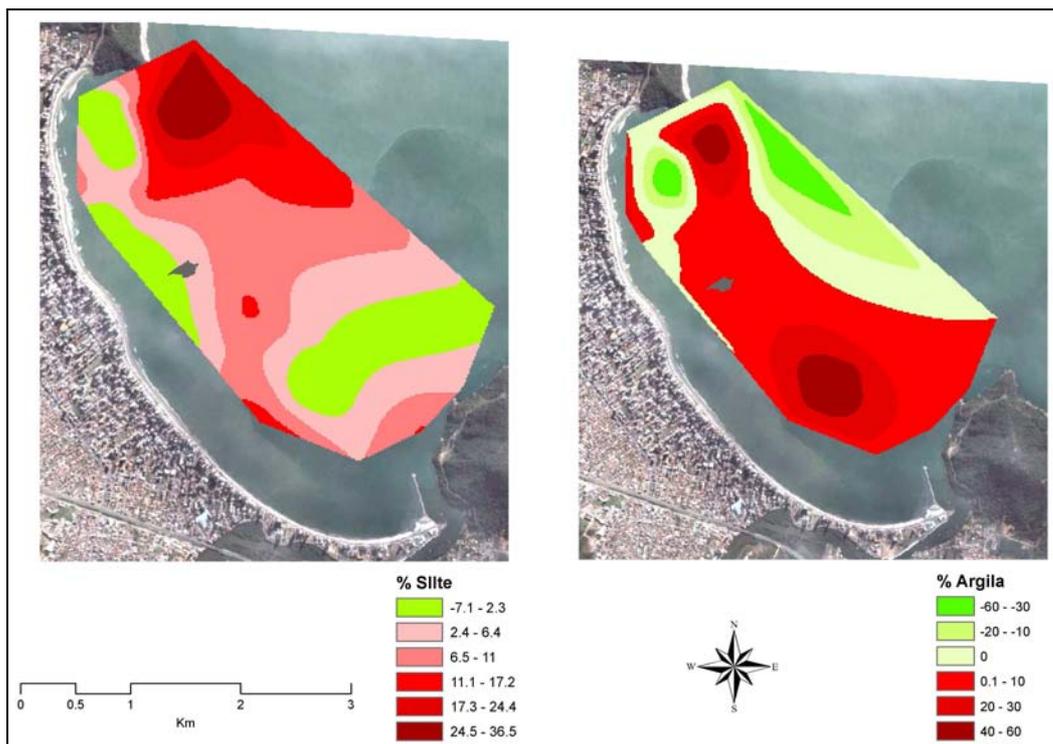


Figura 23 - Variação da porcentagem de silte para os anos de 2002 (esq.) e 2006 (dir.) na enseada de Balneário Camboriú.

## 2.4 Conclusões

A praia de Balneário Camboriú é composta de sedimentos tamanho de areia fina a muito fina, bem a moderadamente classificados, não apresentando modificação significativa para quase totalidade da praia.

A alimentação artificial realizada na porção sul da praia (perfis 14 e 15) alterou as características sedimentológicas neste local. Foram utilizados nesta obra sedimentos com teores de lama (silte e argila) superiores a 30% (Pezzuto *et. al.*, 2004), altos teores de carbonato e pobremente selecionados.

O fundo da enseada de Balneário Camboriú apresentou uma fácies arenosa muito fina entre a praia e a isóbata de 4m na região norte, e se estendendo a 12m no lado sul da enseada. Uma fácies arenosa fina foi evidenciada próximo a Ponta das Laranjeiras. No restante do fundo da enseada ocorre uma distribuição de grãos dominada por sedimentos lamosos.

A sedimentologia da enseada apresentou uma alteração entre os anos de 2002 e 2006. Verificou-se um aumento da porcentagem de silte e argila para toda a

superfície de fundo. Esta alteração provavelmente foi causada pela obra de alimentação artificial, por efeito da lavagem das ondas nos sedimentos depositados na praia durante a obra.

A partir da análise da distribuição faciológica da enseada, pode-se afirmar que não há troca de sedimentos arenosos da praia com a região da antepraia, sendo esta região dominada principalmente por sedimentos finos (silte e argila), excetuando-se a região submarina localizada no extremo sul da enseada, próximo ao promontório das Laranjeiras, onde se verifica a presença de uma fácies arenosa fina. Esta fácies é interpretada como relíquia, pertencentes a sedimentos depositados pelo rio Camboriú, em condições de níveis de mar mais baixo.

A isóbata de 4m marca a transição entre a fácies arenosa da praia e as fácies de sedimentos finos da antepraia, tanto pelo mapa faciológico, como pelo diagrama de Pejrup. Com isso pode-se concluir que a troca sedimentar entre a praia e a antepraia é nula, não havendo perda nem ganho de sedimentos, mesmo em eventos de alta energia.

## Capítulo 3 - Morfologia

### 3.1 Introdução

A morfologia costeira é o resultado de um grande conjunto de variáveis entre as quais se encontram os processos hidrodinâmicos, geológicos e climatológicos. Geralmente a influência de forças naturais pode ser dividida em processos de longa duração, como a forma da morfologia costeira sobre longas escalas espaciais na ordem de quilômetros ou mais e processos de curta duração, como eventos de tempestades que causam impactos de lugar para lugar em apenas poucas horas.

Diversos estudos já foram realizados na praia de Balneário Camboriú para caracterização morfológica em planta e perfil, dentre eles podemos citar Temme (1996), Menezes (1999), Menezes & Klein (1997), Klein & Menezes (2001), Benedet (2000) e Klein *et. al.* (2002).

Este capítulo apresenta a caracterização morfológica da área de estudo em planta e perfil.

### 3.2 Material e Métodos

#### 3.2.1 Praia em Planta

Para a análise da estabilidade da praia de Balneário Camboriú foi utilizado o programa MEPBAY desenvolvido pelo Laboratório de Oceanografia Geológica.

MEPBAY (modelo para o equilíbrio em planta de praias de enseada) usa a equação parabólica da forma da enseada para calcular a linha de costa de uma praia de enseada em equilíbrio estático. Um exemplo da aplicação de MEPBAY é dado na Figura 24. O ponto de controle da costa é o ponto de difração da onda.



*Figura 24 -* Programa MEPBAY aplicado a praia de taquaras/taquarinhas em Santa Catarina.

Na figura 24 a linha de crista das ondas incidentes é paralela à linha tangente à costa. A linha preta entre o ponto de controle da costa e o ponto de difração da onda é a linha do controle. A linha azul curvada corresponde a linha de costa calculada para o equilíbrio estático. Como pode ser visto, a forma da enseada coincide com a linha de costa calculada, indicando que esta praia está no equilíbrio estático.

O arco praiar de Balneário Camboriú apresenta todos elementos morfológicos necessário para aplicação do modelo de equilíbrio em planta. Entretanto, como a presença da Ilha das Cabras exerce alterações na morfologia praiar, pelo desenvolvimento de uma saliência ou tómbolo (Figura 25), o modelo será aplicado ao longo de quatro seções da praia. Tomando-se como referência a posição desta ilha na enseada, as seções encontram-se assim denominadas; norte, centro-norte, centro-sul, e sul. A seção norte começa na foz do Canal do Marambaia e termina na porção centro-norte da praia, a seção centro-norte inicia no final da porção norte e se estende até a metade da saliência na porção central da praia, a porção centro-sul inicia na metade da saliência da praia e se estende até a porção centro-sul da praia e o a porção inicia no final da porção centro-sul e termina junto ao molhe do rio Camboriú.

Também será testada a influência da construção do molhe, ao sul da enseada, no modelo de estabilidade da praia em planta, por causa da alteração que esta estrutura pode causar na mudança do ponto de refração da onda.

Para implantação do modelo e execução das análises foi utilizada uma imagem Quickbird de Balneário Camboriú para o ano de 2004.

### 3.2.2 Praia em Perfil

#### 3.2.2.1 Perfis da Praia

A morfologia praial foi obtida em 15 perfis perpendiculares à praia, distantes 400 metros entre si (Figura 25), segundo o método de levantamento topográfico proposto por Borges (1977). Os levantamentos em medições das cotas da praia em diferentes pontos, fazendo-se o uso do teodolito eletrônico e uma régua graduada (mira) (Figura 26).

O método utilizado é conhecido como método de rampas, onde o pesquisador obtém duas leituras e dois ângulos verticais, que são utilizados para calcular a distância e a cota. Os níveis de referência foram fixados em postes localizados no calçadão ao longo da orla.

Desta forma, se obteve os valores médios, desvio padrão do volume ( $m^3$ ), média e desvio padrão da variação da linha de costa (m).

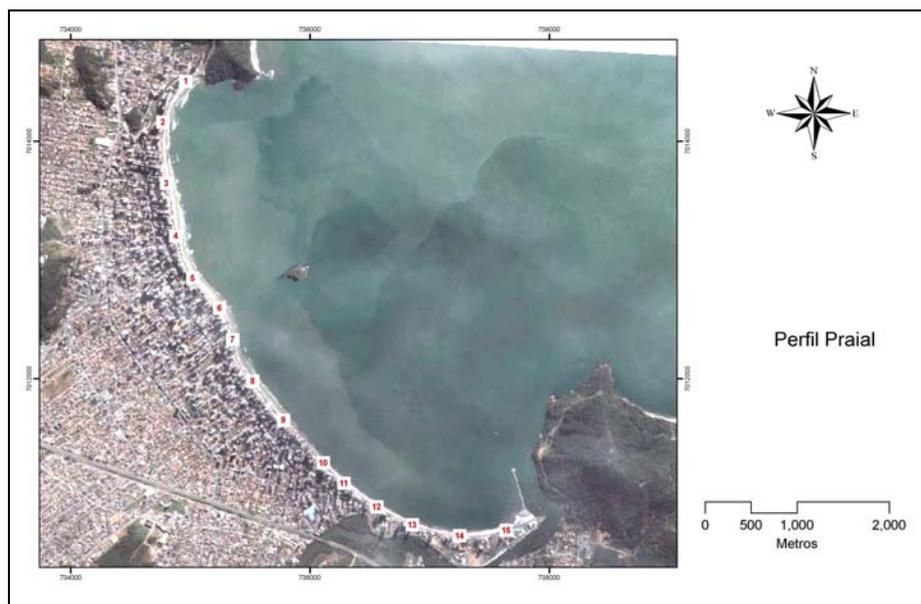


Figura 25 - Localização dos 15 perfis praias utilizados para o monitoramento da morfologia praial.

Um desenho esquemático de perfil praiial é apresentado na Figura 27. O eixo X estende-se em direção ao mar, representando a distância, o eixo Y estende-se verticalmente para cima representando as cotas, a altura nula do perfil (cota zero) é utilizada como sendo o limite X2 para todos os perfis. O início das coordenadas está posicionado no nível referencial.

Para cada perfil calcularam-se as seguintes variáveis morfológicas: volume da praia ( $V$ ) [ $m^3/m$ ]; e largura da praia ( $L$ ) [ $m$ ], usando os limites em direção a terra e ao mar ( $X1$  e  $X2$ ) (Figura 27).



Figura 26 - Fotos que ilustram o desenvolvimento do levantamento do perfil praiial (fotos: Glaucio Vintem).

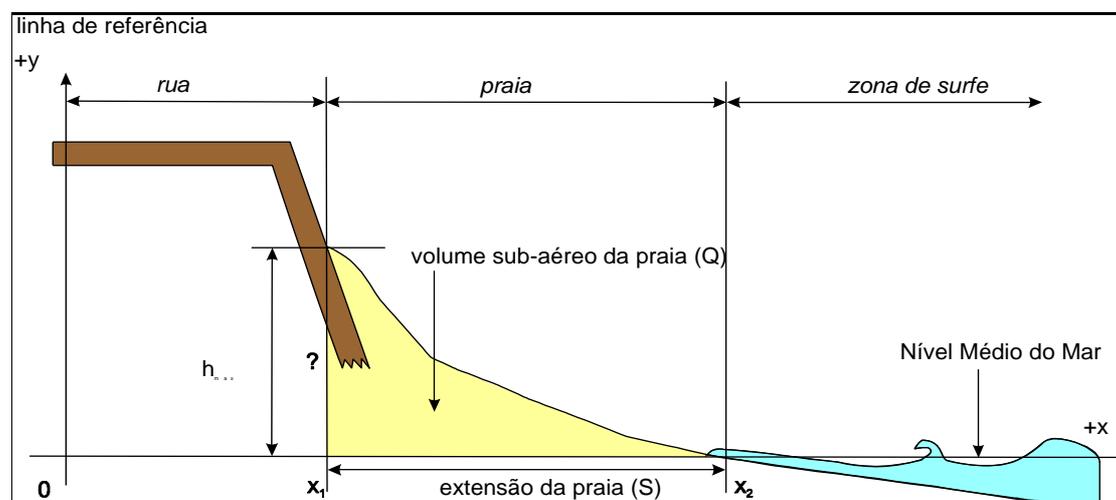


Figura 27 - Desenho esquemático do perfil praiial (modificado de Temme (1996) e Temme *et al.* (1997)).

### 3.3 Resultados e Discussão

#### 3.3.1 Morfologia da Praia em Planta

Os resultados da análise da estabilidade da praia em planta serão apresentados para duas situações distintas no Balneário Camboriú, em 2004:

- 1) Antes da construção do molhe;
- 2) Após a construção do molhe na região sul da praia.

##### 3.3.1.1 Situação Antes da Construção do Molhe

A Figura 28 apresenta a aplicação do software MEPBAY antes da instalação do molhe na porção sul da enseada de Balneário Camboriú. As ondulações provenientes de sul e sudeste, as mais energéticas, são primeiramente refratadas e difratadas pelo promontório da Ponta das Laranjeiras, ao entrarem na enseada de Balneário Camboriú, e posteriormente junto a Ilha das Cabras.

Comparando-se a forma em planta da praia com a aquela predita pelo modelo MEPBAY, pode-se dizer que na seção norte da praia a linha de equilíbrio estático está localizada em direção ao continente (Figura 28A), indicando que esta seção se encontra em equilíbrio dinâmico. Ou seja, enquanto o balanço sedimentar desta célula praial estiver em equilíbrio não haverá problemas de retração ou progradação praial neste local.

A seção sul da praia (Figura 28C) também apresenta o mesmo comportamento, ou seja, a linha de costa de equilíbrio dinâmico se encontra em direção ao continente. Entretanto, esta seção não está totalmente em equilíbrio dinâmico, apresentando alguns locais com erosão de pequena escala “*hotspots*”, que reduzem a largura da praia, porém sem causar destruição ao passeio na faixa de areia da praia. Esta região foi alimentada artificialmente a partir de 2002 com sedimentos do leito do rio Camboriú, conforme histórico apresentado no Capítulo 1.

Abreu *et. al.* (2003) descreveram que a construção de uma barragem no rio Camboriú nos anos 50, diminuiu o aporte de sedimentos arenosos para a praia e seria, por esta razão, a principal causa da manutenção da praia em equilíbrio.

O modelo MEPBAY também pode ser utilizado para aproximar a forma de feições costeiras com tómbolos e saliências. A praia curvada em cada lado de um quebra-mar ou de uma ilha pode ser relacionada a uma forma de baía, para a qual a equação de praia parabólica pode ser aplicada. A Figura 28B mostra que os trechos de praia ao norte e ao sul da saliência, seções centro-norte e centro-sul, estão próximas do equilíbrio estático.

Klein *et al.* (2002) estudaram os tómbolos e saliências do Estado de Santa Catarina e comprovaram a estabilidade estática da saliência da praia de Balneário Camboriú. Klein (2004) fez novos cálculos para a saliência existente no centro da praia de Balneário Camboriú e mostrou que esta se apresenta em estabilidade dinâmica, podendo sofrer alterações dependendo principalmente do balanço sedimentar e altura das ondas incidentes no ponto de arrebentação.

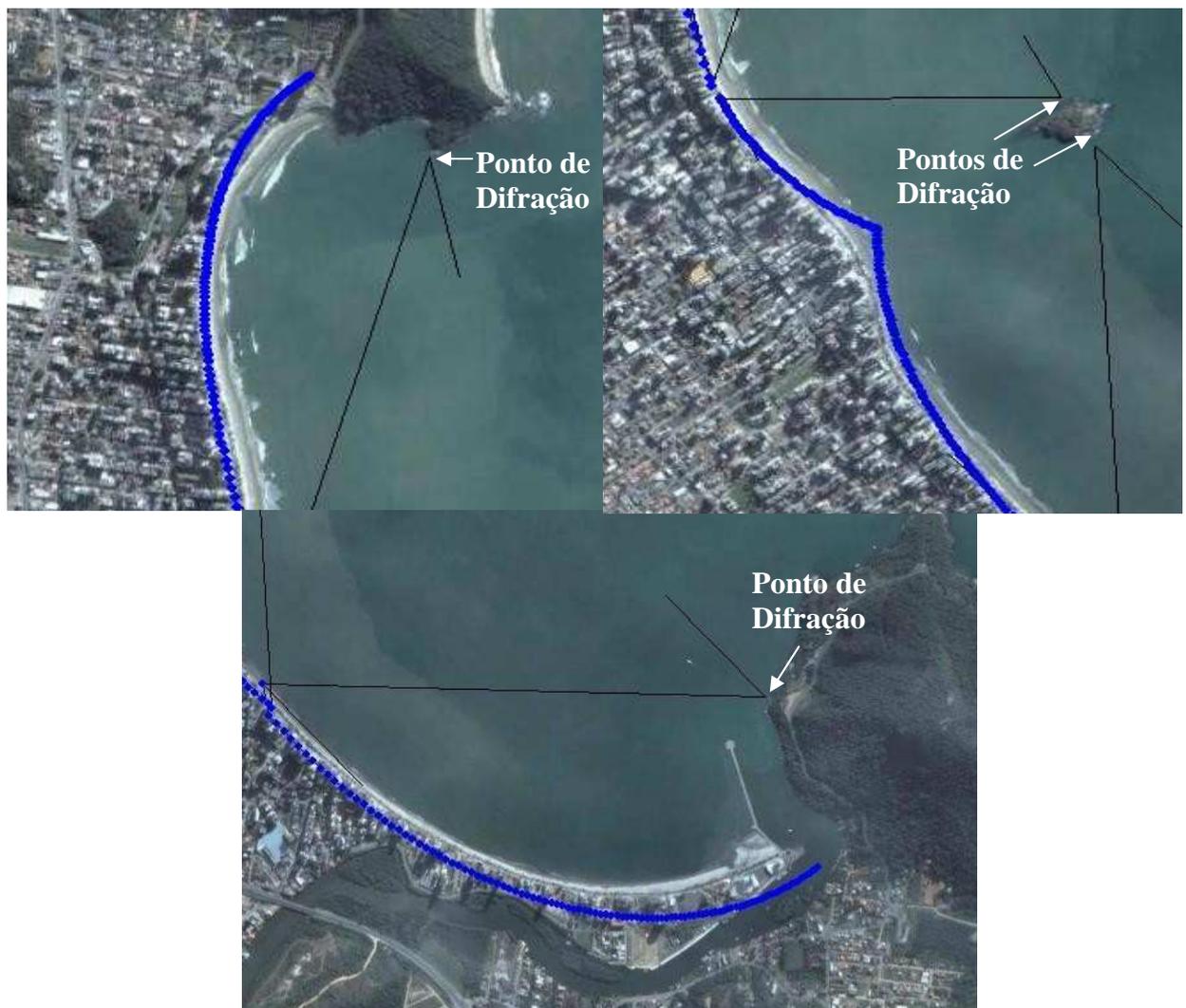


Figura 28 - Forma em planta da praia e a linha predita em equilíbrio estático (linha azul), pelo emprego do modelo MEPBAY.

### 3.3.1.2 Situação Após a Construção do Molhe

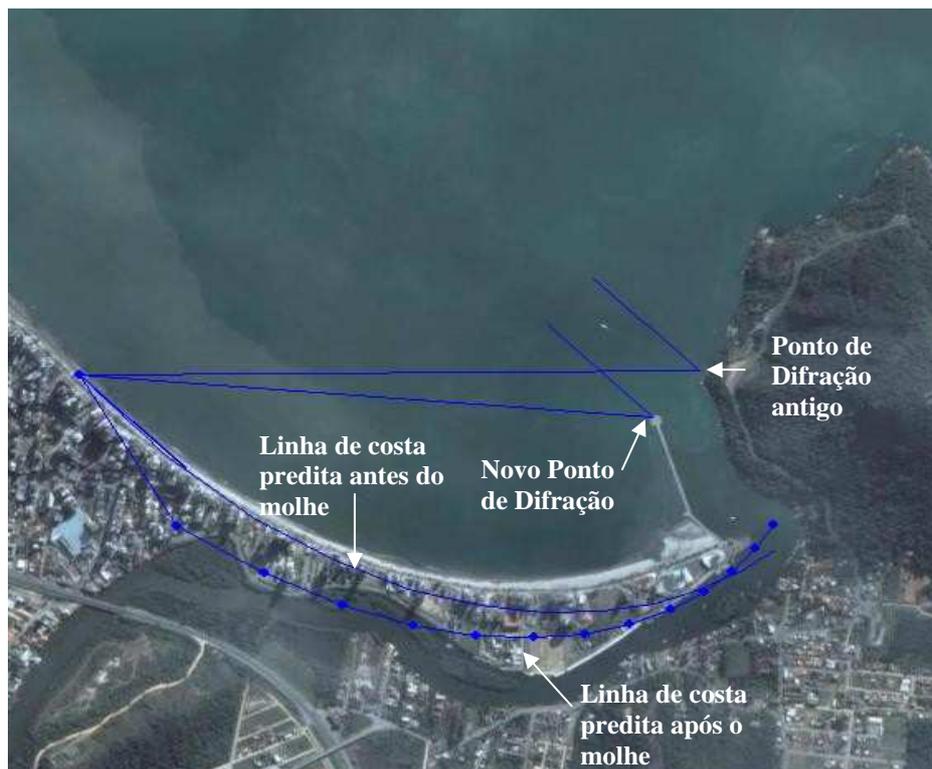
A Figura 29 apresenta os resultados da aplicação do MEPBAY para a porção sul da praia após a construção do molhe. O molhe apenas realocou o ponto de difração das ondas no sul da Enseada de Balneário Camboriú. O ponto de difração das ondas na porção norte da Enseada não foi afetada pela construção do molhe e a situação de equilíbrio dinâmica é o mesmo da situação original.

Devido à construção do molhe o ponto de difração no sul da Enseada de Camboriú deslocou-se aproximadamente 200 metros para sudoeste. Como pode ser visto na Figura 29, causando um impacto grande na posição da linha de costa em equilíbrio dinâmico, que se deslocou em direção ao continente, refletindo o deslocamento do ponto de difração, o que poderá no futuro representar problemas erosivos nesta região, devido à reorientação da linha de costa para buscar o equilíbrio.

Além da relocação do ponto de difração das ondas ao sul da Enseada de Camboriú, o molhe causa impacto sobre a troca de sedimentos entre o Rio Camboriú e a praia. Siegle (1999) mostrou que o rio Camboriú exporta uma grande quantidade de sedimentos finos para a enseada de Camboriú. Esta contribuição foi alterada pela construção do molhe, pois a desembocadura do rio foi deslocada 451 metros em direção ao mar. Em contra partida, sedimentos da praia transportados pelas ondas em direção ao rio serão bloqueados pelo molhe, causando deposição ao lado do mesmo, o que pode ser visto na Figura 29.

A redução do suprimento de sedimentos do rio para a praia junto com o bloqueio do sedimento pelo molhe não causará impacto na estabilidade da praia em planta, pois segundo Siegle (1999) o rio Camboriú não contribui com o transporte de sedimentos arenosos para a enseada de Balneário Camboriú.

As conseqüências exatas da construção do molhe na troca do sedimento ainda não são conhecidas, pois existe a possibilidade da ocorrência de dois processos opostos, a acumulação de sedimentos junto ao molhe e um aumento de erosão pela mudança no ponto de difração da onda, alterando a posição do perfil de equilíbrio em planta em direção ao continente, desta forma as alterações na estabilidade da forma da praia em planta deverão ser monitoradas através de perfis morfológicos praias.



*Figura 29* - Forma em planta da praia, a linha predita em equilíbrio estático antes (linha contínua) e após a construção do molhe (linha pontilhada).

### 3.3.2 Morfologia da Praia em Perfil

A variação morfológica ocorrida na praia de Balneário Camboriú foi monitorada através dos quinze perfis topográficos, realizados em dois momentos distintos: entre abril de 1994, e fevereiro de 1996 e entre julho de 2004 e agosto de 2005. Os parâmetros morfométricos empregados nesta análise, quanto aos valores máximos, mínimos e médios de volume e largura, se encontram de forma resumida na Tabela 4. Os resultados dos levantamentos dos perfis praias estão apresentados no Anexo 2.

A Figura 30 apresenta as variações de volume que ocorreram na praia de Balneário Camboriú para os dois períodos de tempo estudados. Verifica-se que pequenas alterações morfológicas foram observadas na praia entre os perfis 2 e 9. O perfil 1 apresentou grandes variações morfológicas nos períodos estudados, porém ao longo do tempo verifica-se a recuperação do volume de sedimentos após os períodos erosivos, podendo estas erosões maiores estarem associadas a passagens de frentes frias pela região, haja visto que este perfil encontra-se na porção mais exposta da praia.

Os demais perfis (11, 12, 13, 14 e 15) apresentaram uma grande variação de volume, principalmente entre os dois períodos de amostragem, devido a alimentação artificial realizada no sul da praia pela prefeitura municipal, para fins do alargamento da faixa natural de areia a partir de 2002, conforme descrito anteriormente.

Pode-se notar que na porção norte da praia, perfis 1 a 5, nos meses de: junho de 1995, novembro de 2004, fevereiro e março de 2005 apresentaram as maiores variações volumétricas. A amplitude das variações morfológicas ocorridas na porção central da praia, perfis 6 a 10, ocorreu de uma maneira mais gradual em relação à porção norte da praia, entretanto os meses de fevereiro e agosto de 2005 apresentaram variações mais expressivas dentre os demais.

Tabela 4. Valores de volumes ( $V = m^3/m.$ ), larguras ( $L = m$ ) máximos (máx), mínimos (mín) e médios, para os perfis praias em levantamentos nos dois períodos; 1994-1996 (acima), e 2004-2005 (abaixo).

Perfis	V. máx.	V. mín.	V. médio	L. máx.	L. mín.	L. média
1	43,5	29,0	37,0	48,0	34,0	43,5
2	36,0	20,5	27,6	45,0	26,0	35,7
3	37,4	15,5	26,3	49,0	30,0	37,5
4	29,0	15,0	21,7	42,0	26,0	34,0
5	29,0	11,5	19,6	44,0	25,0	34,5
6	26,0	9,0	17,8	36,0	21,0	30,9
7	26,0	13,5	20,0	38,0	25,0	32,0
8	28,3	13,5	20,5	42,0	25,0	34,3
9	31,5	19,0	26,6	45,0	34,0	40,3
10	6,2	2,8	4,5	18,0	11,0	19,3
11	9,0	5,0	6,9	22,0	13,0	17,5
12	7,0	1,7	3,6	22,0	8,0	13,2
13	8,5	3,0	4,8	19,0	9,0	13,3
14	27,7	15,0	23,3	37,0	25,0	29,0
15	2,6	0,2	1,3	9,0	4,0	6,3
Perfis	V. máx.	V. mín.	V. médio	L. máx.	L. mín.	L. média
1	36,5	17,0	23,5	48,0	29,7	38,0
2	36,5	17,0	30,0	46,5	34,0	39,5
3	31,5	21,3	30,0	55,0	39,0	47,3
4	40,0	21,0	30,7	53,0	26,0	47,6
5	40,5	24,0	32,8	55,5	44,0	50,0
6	29,0	19,5	23,8	46,5	32,0	39,8
7	24,5	11,5	15,0	34,0	25,0	29,3
8	34,0	21,0	28,8	48,5	36,0	43,6
9	36,5	20,0	29,2	54,0	32,5	47,3
10	19,8	12,7	16,3	33,7	26,7	29,0
11	18,5	14,0	16,5	41,2	35,0	37,8
12	33,5	26,2	30,0	52,0	41,0	44,7
13	45,3	36,2	26,2	32,2	23,2	39,2
14	36,5	31,0	33,6	58,5	48,0	52,2
15	64,0	28,0	43,7	87,0	42,0	60,1

As variações morfológicas de largura da praia apresentaram o mesmo padrão de alterações dos volumes de sedimentos. A boa correlação de comportamento entre estas duas variáveis pode ser observada por comparação entre os gráficos das figuras 30 e 31..

Em 1994, as maiores variações volumétricas e de largura dos perfis foram negativas e verificadas em dois períodos: a) entre os meses de maio e junho nos perfis 3, 4, 5, 6, 9, e b) no mês de novembro no perfil 8.

Entre fevereiro de 1995 e fevereiro de 1996, ocorreu um padrão inverso aquele observado no ano anterior, as maiores variações volumétricas e largura foram positivas. Essas foram observadas nos perfis 2, 3 e 5 no mês de junho de 1995.

Maiores variações volumétricas foram observadas entre julho de 2004 a agosto de 2005. Variações positivas ocorreram no mês de setembro nos perfis 1 e 2, no mês de fevereiro nos perfis 1, 8 e 9, e no mês de junho no perfil 15. As negativas ocorreram no mês de novembro nos perfis 1, 2, 5, 8 e 9, no mês de março no perfil 1 e entre os meses julho e agosto de 2005, nos perfis 3, 4, 5, 6, 7 e 9.

Como já foi verificado por Temme (1996), Menezes (1999), Klein & Menezes (2001) e Benedet (2000), os perfis que apresentaram as maiores frequências e amplitudes de variação volumétrica foram aqueles localizados na região da praia com maior grau de exposição às ondas incidentes, ou seja, na porção norte.

Não foi observada uma sazonalidade nas variações de volume e largura da praia. Assim como Benedet (2000) já havia observado, essas variações são respostas a eventos de alta energia de ondas e ressacas, que podem ocorrer em qualquer mês do ano, porém sendo mais frequentes no inverno.

As variações líquidas de volume, que estão apresentadas na Tabela 5, demonstram ganhos e perdas sedimentares em taxas anuais, nos seguintes períodos:

- janeiro de 1994 a janeiro de 1995,
- fevereiro de 1995 a fevereiro de 1996,
- julho de 2004 a agosto de 2005.

Nesta tabela, os valores positivos (em cor verde) representam acreção e valores negativos (em cor vermelha) erosão.

No primeiro ano, os perfis 5 e 10 apresentaram as maiores perdas volumétricas ( $-9,9 \text{ m}^3/\text{m}$  e  $-2 \text{ m}^3/\text{m}$ ), respectivamente; valores que representam 53% e 47% dos volumes médios destes perfis, neste período.

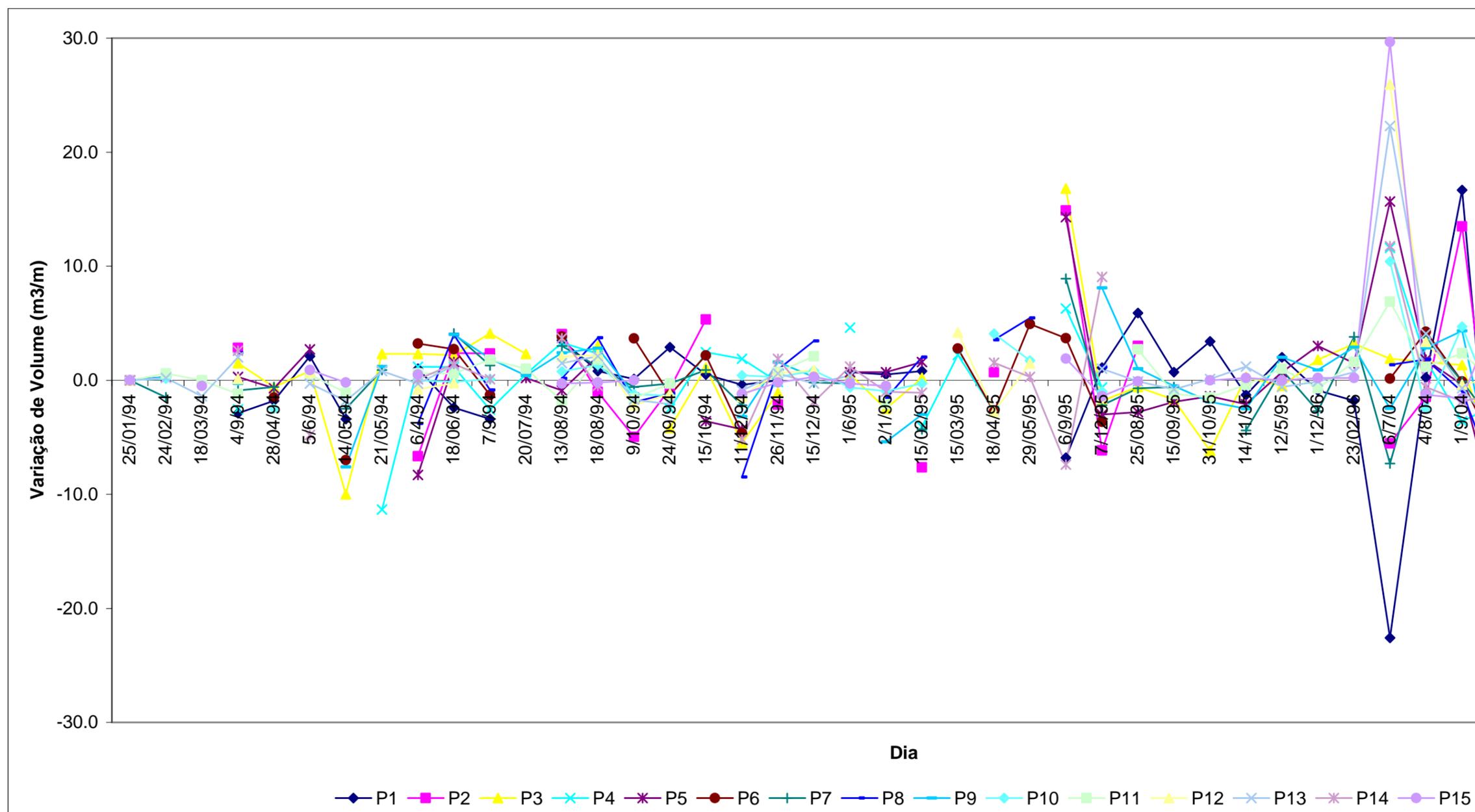


Figura 30 - Variações de volume observados nos perfis praias de Balneário Camboriú nos períodos de Jan/94 a Fev/96 e Jul/04 a Mai/05.

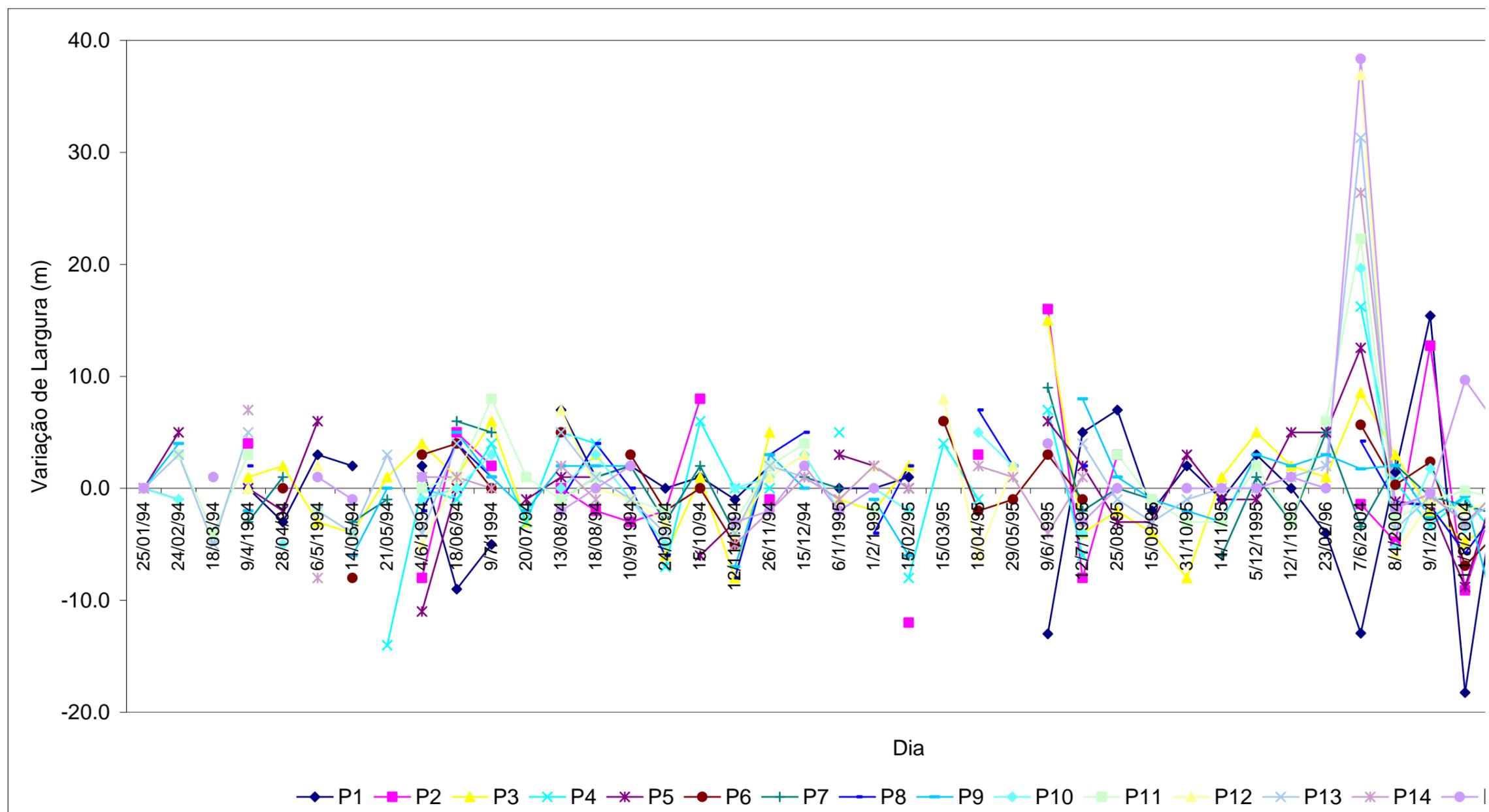


Figura 31 - Variações de largura observados nos perfis praias de Balneário Camboriú nos períodos de Jan/94 a Fev/96 e Jul/04 a mai/05.

Em 1996, o perfil 5 apresentou comportamento oposto àquele do ano anterior, com uma variação líquida de volume positiva de  $10,6\text{m}^3/\text{m}$ , representando um aumento de 52% em relação aos valores médios deste ano. Os perfis 8 e 15 também apresentaram ganho sedimentar ( $10,6$  e  $0,5\text{m}^3/\text{m}$ ), respectivamente, que significam 48% e 56% dos volumes médios neste ano.

Entre 2004 e 2005, os perfis 3 e 4 apresentaram variação volumétrica líquida de  $-12,2$  e  $-16,2\text{m}^3/\text{m}$ , respectivamente, representando uma perda volumétrica de 40% e 53% dos volumes médios. O perfil 15 apresentou um ganho volumétrico de  $31,1\text{m}^3/\text{m}$ , representando 71% do volume médio obtido neste ano.

Tabela 5. Variações líquidas de volume ( $\text{m}^3/\text{m}$ ), para cada perfil, correspondente aos seguintes períodos: 1994-1995, 1995-1996 e 2004-2005.

Perfis	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
1994-1995	-2,7	1,4	-1,3	-1,7	-9,9	-0,1	2,3	-1,6	2,6	-2,0	2,2	0,7	0,1	-1,4	-1,2
1995-1996	3,6	4,8	9,0	-1,1	10,6	5,0	-1,3	10,6	1,6	0,8	-0,6	1,0	1,4	1,4	0,5
2004-2005	2,1	4,1	-12,2	-16,2	-11,6	-1,7	1,8	-0,7	-2,2	-1,9	1,4	-3,9	-4,5	-2,0	31,1

Analisando-se as variações líquidas de volume para os períodos que a praia de Balneário Camboriú foi monitorada, verifica-se entre os anos de 1994 e 1995 uma perda de  $13\text{m}^3/\text{m}$ , entre 1995-1996 um ganho de  $43,6\text{m}^3/\text{m}$  e uma perda de sedimentos de  $38,5\text{m}^3/\text{m}$  entre os perfis 1 e 10 que não foram influenciados diretamente pela alimentação artificial da praia. Isto demonstra a existência de equilíbrio no balanço de sedimentos da praia, ora com ganhos anuais, ora com perdas anuais.

Entre 1994 e 2005 os perfis 1, 3, 4, 7 e 9 apresentaram perdas volumétricas e o restante ganho de sedimentos. Apenas o perfil 1 apresentou uma redução de largura ( $6,6\text{m}$ ), os outros perfis apresentam um aumento, variando de  $1,6$  a  $80$  metros no perfil 4 e 15 respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Diferenças de volume e largura dos perfis entre janeiro de 1994 e agosto de 2005.

Perfis	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
<b>Variação</b>															
<b>Volume</b> ( $\text{m}^3/\text{m}$ )	-19,6	4,8	-2,6	-7,4	4,8	3,4	-4,5	9,6	-0,5	7,4	9,8	23,7	19,3	9,8	60
<b>Variação</b>															
<b>Largura</b> (m)	-6,6	3,5	3,7	1,6	12,4	9,5	1,9	8,8	10,3	9,0	20,4	32,7	23,2	28,5	80

Verifica-se um grande aumento no volume e largura da praia entre os perfis 11 e 15. Este aumento está diretamente relacionado à alimentação realizada pela prefeitura municipal, neste local, a partir de 2002.

Pôde-se verificar nos perfis de Balneário Camboriú uma troca de sedimentos entre anos consecutivos, nos quais alguns perfis sofrem erosão em um ano e acresção no ano subsequente. Enquanto que perfis vizinhos possuem comportamento inverso. A este fenômeno dá-se o nome de rotação praial, definido por Klein (2004) como sendo um fenômeno que ocorre em escalas de tempo diversas, com grandes variações de volumes de sedimentos e movimentação da linha de costa, sem haver ganho ou perda de sedimentos na célula ou compartimento costeiro.

Benedet (2000) e Klein *et. al.* (2002) descreveram este comportamento para a praia de Balneário Camboriú, onde a alteração na direção predominante das ondas incidentes seria responsável por este fenômeno.

### 3.4 Conclusões

A praia, quanto à sua estabilidade em planta, encontra-se em equilíbrio dinâmico, uma vez que a linha de costa prevista está situada em direção ao continente, tanto na porção norte e sul da enseada. Sendo que a porção norte sofre processos erosivos e deposicionais episódicos, enquanto que a porção sul apresenta processos erosivos, favorecidos em parte pela ausência de contribuição de sedimentos arenosos pelo rio Camboriú, após a construção de uma barragem no rio nos anos 50.

A região central da praia, caracterizada por uma saliência, encontra-se em equilíbrio estático, mostrando que a praia já adquiriu sua estabilidade nesta região, devido à proteção pelo efeito de sombra exercida pela Ilha das Cabras sobre a praia adjacente.

A construção do molhe mostrou uma modificação no ponto de difração das ondulações dentro da enseada e, por conseguinte uma alteração no perfil de equilíbrio em planta mais para o continente, o que poderá no futuro agravar os problemas erosivos nesta região da praia.

O comportamento da morfologia praial, apresentada em valores de variações de volume de sedimentos e larguras do perfil praias, demonstrou que os perfis localizados na porção mais exposta da praia, seção norte da enseada, apresentam maiores variações do que os demais perfis localizados nas seções mais protegidas.

Estas variações estão associadas à passagem de frentes frias, de modo que a praia tende a se recompor após estes eventos, como já havia sido evidenciado por Benedet (2000), Klein *et.al.*, 2002.

Também, verifica-se um processo de rotação praial entre os perfis, com acreção em alguns trechos e erosão em outros, evidenciando uma troca de sedimentos entre eles, porém, sem ganhos ou perdas absolutas de sedimentos em termos de balanço sedimentar.

A comparação da morfologia da praia observada nos perfis praiais, entre os dois períodos amostrais, indica que a praia nos últimos treze anos manteve seu estoque sedimentar, não apresentando perdas significativas de sedimentos, não recuperáveis, caracterizando-se desta forma como uma praia estável.

O volume de sedimentos adicionado artificialmente a praia, entre 1994 e 2005, foi de aproximadamente 49.000 m<sup>3</sup> de sedimentos, pela execução da obra de alimentação da praia realizada pela prefeitura municipal.

As variações volumétricas anuais entre os perfis não afetados diretamente pela alimentação artificial demonstram um balanço natural de sedimentos ao longo dos anos.

## Capítulo 4 – Perfil de Equilíbrio Praial

### 4.1 Introdução

O termo perfil de equilíbrio pode ser descrito como a forma de um perfil praial sujeito a ajustes morfodinâmicos para longos períodos de tempo (décadas ou mais), em função principalmente do regime de ondas predominantes e fatores da geologia regional tais como, presença de afloramentos rochosos emersos e submersos ao longo da praia.

Este conceito vem sendo muito discutido atualmente, pois constitui uma importante ferramenta para prever o comportamento de praias mediante a ação dos fatores hidrodinâmicos como refração, difração, dissipação e reflexão de ondas devido à presença de promontórios e feições morfológicas como bancos e cavas. Também, o conceito de perfil de equilíbrio possui aplicação prática nos projetos para recuperação de praias que se encontram em processo de erosão. Esta é uma demanda crescente uma vez que 70% das costas arenosas do mundo estão submetidas à erosão (Bird, 1985).

Tais características fisiográficas podem ser evidenciadas na área de estudo, litoral bastante recortado, constituído por inúmeras praias de enseada, onde se tem a presença do embasamento aflorando na zona costeira, quais vêm sofrendo sérios problemas erosionais nas últimas décadas (Müehle, 1998).

Um perfil de equilíbrio é representado através da antepraia, região situada entre o ponto de arrebentação e a profundidade na qual o movimento orbital das ondas ainda causa retrabalhamento nos sedimentos, local também denominado como profundidade de fechamento. Diversos modelos, a fim de representar um perfil de equilíbrio, foram desenvolvidos, entre eles o de Bruun (1954, 1962) e Dean (1977), considerando a dissipação da energia da onda uniforme ao longo do perfil e; atualmente, modelos de perfil em planta como o sugerido por Rodríguez (1995), considerando a ação combinada das formas de propagação de energia possíveis em praias com a presença de obstáculos (difração-refração de ondas).

A difração, que é a transferência de energia ao longo da crista da onda, isto é, processo pelo qual ocorre a propagação lateral da energia perpendicularmente à direção dominante de propagação de ondas; e a refração, que envolve a direção e variação da altura de onda devido às variações de profundidade; resultam da interação de ondas com estruturas, muitas vezes ocorrendo simultaneamente (Dean & Dalrymple, 1991). A reflexão ocorre devido à interação

da onda com a praia, rochas, bancos, diques ou molhes, podendo ter dimensões iguais as ondas incidentes e direção exatamente oposta (Carter, 1988).

Com o objetivo de analisar o perfil de equilíbrio da praia de Balneário Camboriú os modelos de Rodríguez (1995), Bruun (1954, 1962) e Dean (1977) foram aplicados, para identificar a forma do perfil praial, bem como se esta se encontra em estado de equilíbrio com as condições da dinâmica atual.

## **4.2 Material e Métodos**

### **4.2.1 Perfis da Antepraia**

Os perfis da antepraia são os prolongamentos dos perfis medidos para a porção emersa da praia. Foram executados levantamentos de 15 perfis, os quais seguem a mesma orientação dos perfis praias monitorados (Figura 32).

Primeiramente, obtiveram-se os perfis batimétricos para a praia de Balneário Camboriú, a partir de levantamentos batimétricos realizados na enseada no ano de 2000 com o auxílio de um DGPS e um ecobatímetro (INPH, 2000). Os dados adquiridos foram processados e interpolados de modo digital pelo método dos vizinhos naturais “*natural neighbors*”, sendo criado um Modelo Digital de Terreno (MDT) para toda a enseada. A partir deste modelo foram obtidos os 15 perfis perpendiculares a linha de costa, espaçados entre si em 400 m. Os dados foram interpolados extraindo-se o valor da profundidade a cada metro do perfil, para posterior aplicação dos conceitos de perfil de equilíbrio e configuração dos perfis.

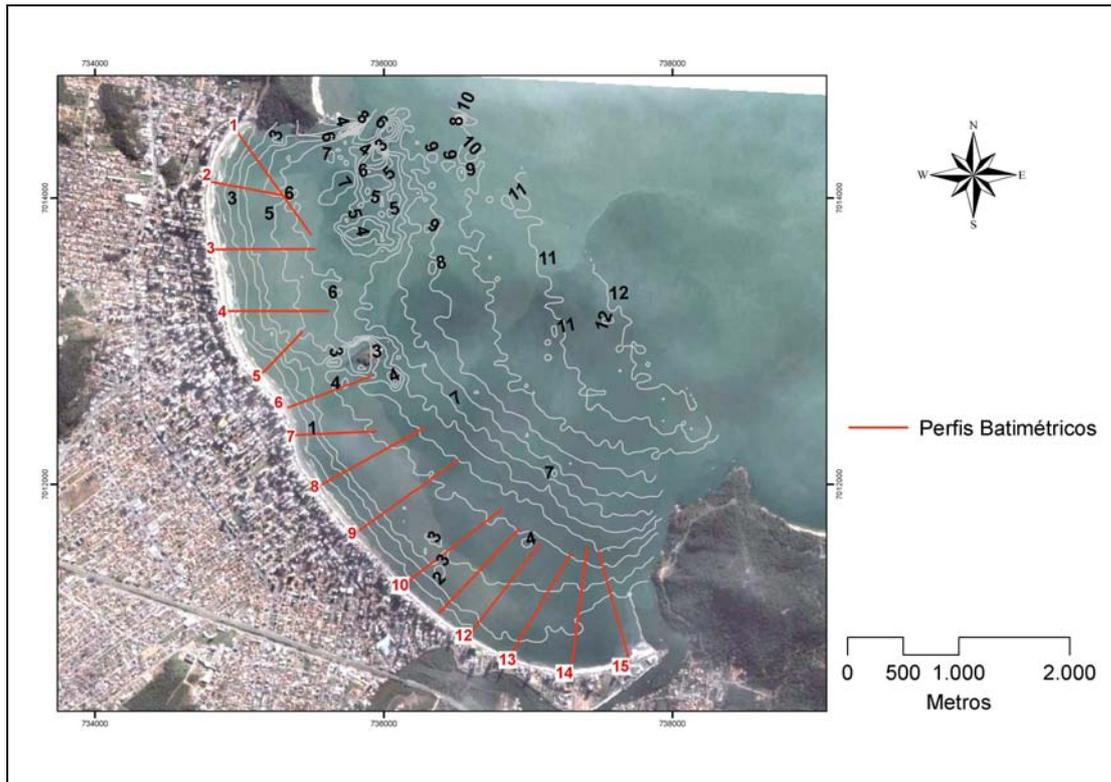


Figura 32 - Perfis batimétricos obtidos para a enseada de Balneário Camboriú.

#### 4.2.2 Profundidade de Fechamento

Existem diversas maneiras de se identificar a profundidade de fechamento ( $h^*$ ). Após diversos testes, utilizando modelos matemáticos aplicados ao fundo da enseada, como o proposto por Hallermeier (1981) e por Rodríguez (1995), pode-se verificar que estes não se adequaram à região estudada. Segundo Gruber (2002), o uso de equações para o cálculo da profundidade de fechamento não deve ser aplicado em locais onde o transporte de sedimento por correntes é mais relevante do que o transporte por ação de ondas. Entretanto, na área em estudo pode-se identificar o local da profundidade de fechamento por dois fatores; pela mudança na declividade do perfil, isto é, uma quebra brusca na declividade ao final da antepraia superior (Bruun, 1954) (Figura 33), e pela mudança no tamanho de grão de areia muito fina ( $4 \phi$ ) para silte e argila ( $> 4 \phi$ ). Assim, adotou-se como profundidade de fechamento do perfil praiar a profundidade na qual a declividade do perfil praiar tende a zero (Anexo 3), sendo que a mesma foi calculada separadamente para cada perfil através das variações morfológicas locais.

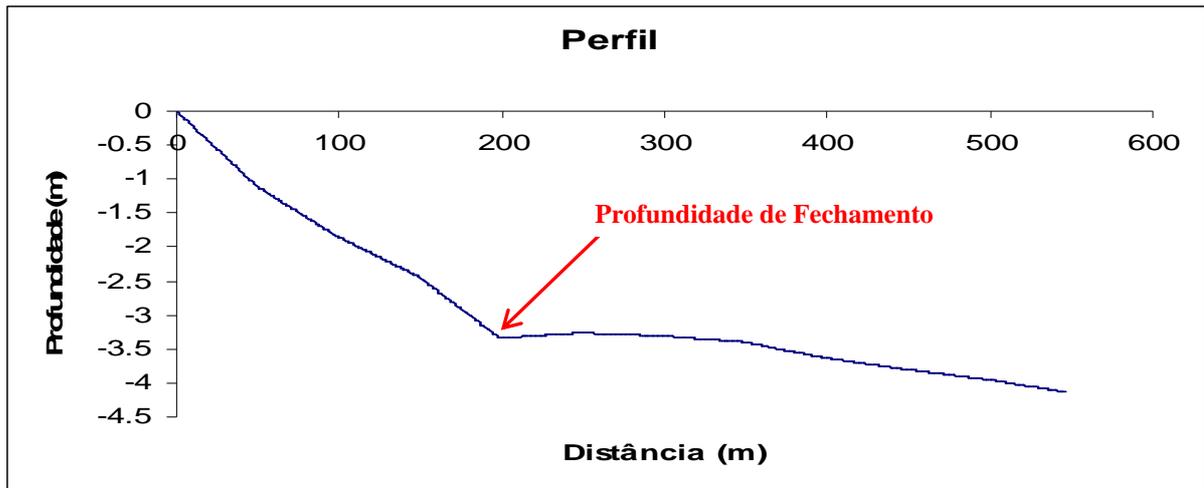


Figura 33 - Identificação da profundidade de fechamento do perfil praial através da quebra na declividade do perfil.

#### 4.2.3 Perfil de Equilíbrio

O cálculo do perfil de equilíbrio foi realizado em acordo com o conceito proposto por Dean (1977), assim como o modelo de difração-refração de ondas, proposto por Rodríguez (1995). A partir dos perfis batimétricos, obtidos anteriormente, foram encontrados os valores dos parâmetros empíricos  $A$ ,  $m$  e  $A_p$  e conseqüentemente a forma geométrica do perfil praial.

##### 4.2.3.1 Modelo de Dean (1977)

Através da equação  $h = A x^m$  deste modelo foram extraídos os parâmetros empíricos  $A$  e  $m$ . Primeiramente, com os dados de profundidade e distância da linha de costa, para cada perfil foi adicionada uma linha de tendência potencial fixando-se o valor de  $m$  em 0,67, como proposto pelo modelo, obtendo-se diretamente o valor de  $A$  e as profundidades relativas ao perfil em equilíbrio.

##### 4.2.3.2 Modelo de Rodríguez (1995)

Para a aplicação do modelo de Rodríguez (1995), que leva em consideração a presença de promontórios e feições morfológicas de fundo como bancos e cavas, de uma determinada região, a forma final de um perfil praial pode ser obtida conforme os termos dados pela equação 23.

$$h(x) = A_p(x)^{x^m} \quad (23)$$

Assim como  $A$  da equação de Bruun (1954) e Dean (1977),  $A_p(x)$  também é um parâmetro empírico, sendo calculado através do coeficiente de refração da onda ( $k_r$ ), da

distância entre a praia e a profundidade de fechamento ( $W$ ), do coeficiente  $m$  e do parâmetro  $A$  da Regra de Bruun, conforme a equação 24.

$$A_p(x) = \left( \frac{1}{k_r^2} \left( 1 - \frac{x}{2W} \right) + \frac{x}{2W} \right)^{2/3} A \quad (24)$$

Tendo-se os valores de distância ( $x$ ) e profundidade ( $y$ ) da linha de costa e sabendo-se a profundidade de fechamento ( $h^*$ ), o valor de  $W$  foi extraído pela distância ( $x$ ) de encerramento do perfil.

Para o cálculo do coeficiente de refração ( $k_r$ ), utilizou-se o valor de  $W$  acima descrito e o valor de  $r$ , caracterizado como a distância do promontório a praia no perfil de interesse, demonstrado na Figura 34, segundo a equação 25.

$$k_r^2 = \frac{r_0}{r} = \frac{r - W}{r} \quad (25)$$

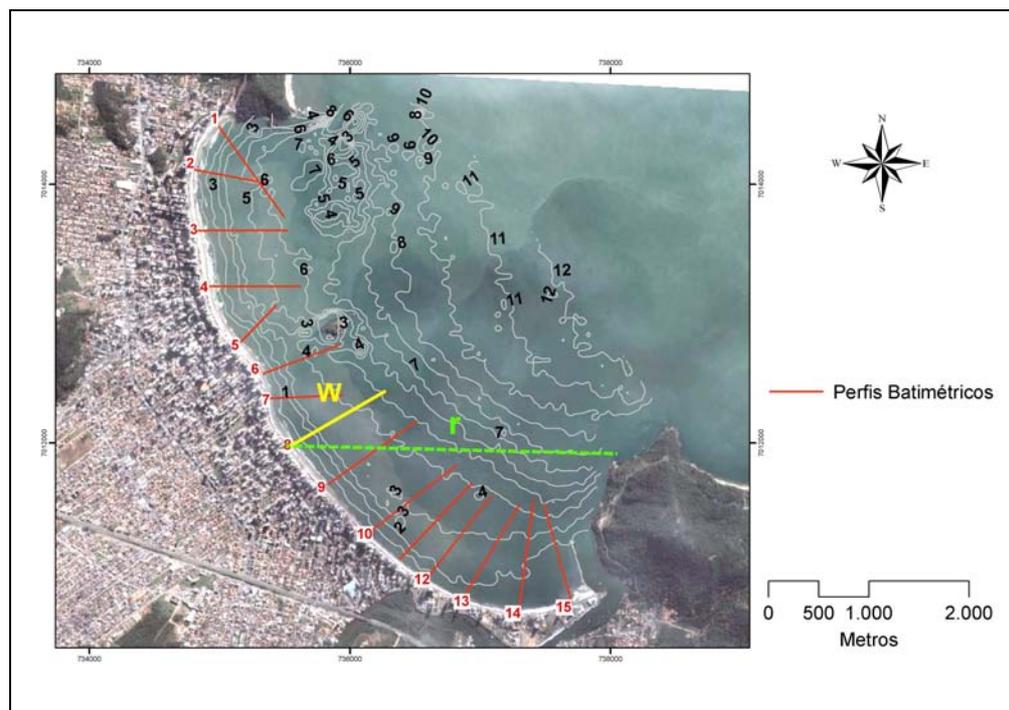


Figura 34 - Metodologia empregada na obtenção dos  $k_r$  para cada um dos perfis

Portanto, através da obtenção dos parâmetros  $A$ ,  $k_r$  e  $W$ , pode-se configurar a forma final do perfil através da equação inicialmente descrita.

#### 4.2.4 Parâmetro $A$ , $m$ e Dados Sedimentológicos

Para a obtenção dos valores de  $A$  e  $m$  para os perfis da praia de Balneário Camboriú, os mesmos foram extraídos da equação de uma linha de tendência potencial ajustada ao perfil natural da praia.

Os valores de  $A$  obtidos da linha de tendência potencial foram então comparados com os dados sedimentológicos extraídos, de acordo com a equação  $A = 0,067w_s^{0,44}$ , proposta por Dean (2002), como mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Valores de  $A$  ( $m^{1/3}$ ) propostos de acordo com o tamanho de grão ( $D_{mm}$ ), segundo Dean (2002).

$D(mm)$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	0,063	0,0672	0,0714	0,0756	0,0798	0,084	0,0872	0,0904	0,0936	0,0968
0,2	0,100	0,103	0,106	0,109	0,112	0,115	0,117	0,119	0,121	0,123
0,3	0,125	0,127	0,129	0,131	0,133	0,135	0,137	0,139	0,141	0,143
0,4	0,145	0,1466	0,1482	0,1498	0,1514	0,153	0,1546	0,1562	0,1578	0,1594
0,5	0,161	0,1622	0,1634	0,1646	0,1658	0,167	0,1682	0,1694	0,1706	0,1718
0,6	0,173	0,1742	0,1754	0,1766	0,1778	0,179	0,1802	0,1814	0,1826	0,1838
0,7	0,185	0,1859	0,1868	0,1877	0,1886	0,1895	0,1904	0,1913	0,1922	0,1931
0,8	0,194	0,1948	0,1956	0,1964	0,1972	0,198	0,1988	0,1996	0,2004	0,2012
0,9	0,202	0,2028	0,2036	0,2044	0,2052	0,206	0,2068	0,2076	0,2084	0,2092
1,0	0,210	0,2108	0,2116	0,2124	0,2132	0,2140	0,2148	0,2156	0,2164	0,2172

De acordo com a média granulométrica ao longo de cada perfil, foram então extraídos novos valores de  $A$  ( $A$  do sedimento) e  $A_p$  ( $A_p$  do sedimento), referentes ao tamanho de grão característico da região. Com base no valor de  $A$  apropriado para os perfis, os valores de  $m$  foram então calculados.

Desta forma, perfis de equilíbrio utilizando valores de  $A$  e  $m$  adequados à região foram configurados segundo os modelos propostos, a fim de se estabelecer relações dos parâmetros com o tamanho de grão e declividade da antepraia, respectivamente.

#### 4.2.5 Comparação do Perfil Natural com os Perfis Calculados pelos Modelos

A validação dos modelos de perfis para a praia de Balneário Camboriú, com base nos critérios da profundidade de fechamento ( $h^*$ ) e das formas geométricas dos perfis, foi realizada de modo comparativo entre os perfis medidos e os perfis obtidos dos modelos de Dean (1977) e Rodríguez (1995),

### 4.3 Resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises dos 15 perfis obtidos para a praia de Balneário Camboriú, referentes aos seguintes parâmetros: análises morfológicas e sedimentológicas de cada perfil, bem como os valores dos coeficientes  $A$ ,  $A_p$  e  $m$  encontrados nos modelos de perfil de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995).

A Tabela 8 apresenta valores de profundidade de fechamento, tamanhos de grão do modelo e real, coeficientes  $A$ ,  $A_p$  e  $m$  dos modelos obtidos para os quinze perfis estudados na praia de Balneário Camboriú.

Tabela 8. Valores médios da profundidade de fechamento (m), tamanho do grão (mm) e coeficientes encontrados para os 15 perfis da área de estudo.

Perfil	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Profundidade de fechamento</b>	4	4	4	4	4	4	3,4	3,3	3,3	3	2,7	2,6	2,8	1,5	0,7
<b>Tamanho do grão obtido pelo modelo</b>	0,20	0,18	0,17	0,19	0,15	0,14	0,11	0,17	0,14	0,16	0,14	0,17	0,17	0,18	0,05
<b>Tamanho do grão real</b>	0,19	0,17	0,13	0,15	0,15	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,12	0,13
<b><math>m</math></b>	0,72	0,73	0,70	0,70	0,71	0,69	0,69	0,71	0,7	0,7	0,71	0,72	0,7	0,61	0,5
<b><math>A</math> do modelo</b>	0,098	0,092	0,089	0,096	0,083	0,080	0,070	0,098	0,078	0,087	0,080	0,090	0,091	0,093	0,041
<b><math>A</math> do sedimento</b>	0,092	0,085	0,070	0,078	0,078	0,070	0,070	0,070	0,070	0,070	0,074	0,074	0,074	0,066	0,070
<b><math>A_p</math> do modelo</b>	0,103	0,095	0,093	0,101	0,087	0,104	0,074	0,104	0,085	0,094	0,083	0,096	0,100	0,100	0,065
<b><math>A_p</math> do sedimento</b>	0,100	0,090	0,082	0,086	0,084	0,094	0,080	0,081	0,088	0,073	0,078	0,076	0,079	0,082	0,114
<b><math>k_r</math></b>	0,938	0,940	0,929	0,921	0,918	0,878	0,918	0,911	0,878	0,880	0,909	0,902	0,856	0,884	0,495

#### 4.3.1 Profundidade de Fechamento

A Figura 35 mostra a variação da profundidade de fechamento para Balneário Camboriú. Na porção norte, afetada mais diretamente pelas ondas, encontrou-se uma média de 4 m para a profundidade de fechamento, no setor central a média foi de 3,3m, e na porção sul, em torno de 1,7m (Tabela 8 e Anexo 3). Este comportamento comprova a afirmação de Rodríguez (1995), de que enseadas abrigadas por promontórios sofrem alterações no limite da ação das ondas sobre o transporte sedimentar do perfil. Desta forma quanto mais abrigado o perfil da ação das ondas, menor será a profundidade de fechamento do mesmo, demonstrado no caso pelos perfis ao longo da seção sul de Balneário Camboriú.

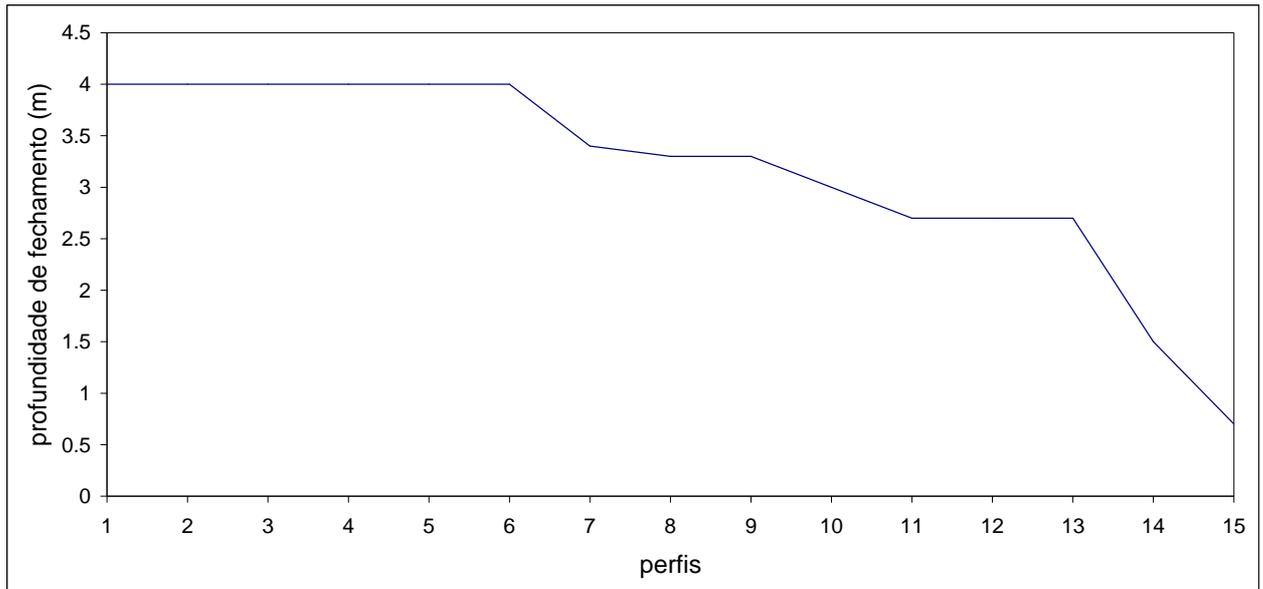


Figura 35 - Variação da profundidade de fechamento nos 15 perfis analisados para Balneário Camboriú (SC).

A profundidade de fechamento é um parâmetro muito discutido quando de sua aplicação e análise ao conceito de perfis praias de equilíbrio. Trabalhos a fim de delimitar esta profundidade, para além da qual não existe mais transporte significativo de sedimentos de fundo, foram desenvolvidos por Bruun (1954, 1962), Niedoroda *et al.* (1985), Hallermeier (1981), Rodríguez (1995), Beavers (1999), Nicholls *et al.* (1998), Dean *et al.* (1993) e Larsons *et al.* (1999), entre outros. Diversos estudos para resolução de problemas em áreas litorâneas, sejam aqueles relativos a engenharia ou geologia costeira e oceanografia, se utilizam desta abordagem.

Os trabalhos acima descritos, com exceção de Rodríguez (1995), apresentam notável diferença quando aplicados a praia de Balneário Camboriú. Nesta enseada os valores encontrados, com base no critério da mudança de declividade, foram muito inferiores. Isto se deve ao fato das regiões estudadas, naqueles trabalhos, serem costas abertas e assim, expostas à ação direta das ondas, fato que faz com que a onda dissipe sua energia sobre a antepraia mais gradualmente, remobilizando o fundo a profundidades maiores. Além disso, a área de estudo é uma região abrigada e, portanto, influenciada pela presença de promontórios que diminuem a energia das ondas, diminuindo a profundidade de interação das mesmas com o fundo.

### 4.3.2 Valores de $A$ , $A_p$ e Granulometria

A Figura 36 apresenta a variação dos valores médios do tamanho de grão para cada perfil, assim como os valores de  $A$  correspondentes, e a variação do valor de  $A$  segundo o modelo de Dean (1977).

Os valores de  $A$  obtidos a partir da aplicação do modelo de Dean (1977), encontram-se entre 0,041 a 0,098. Para os valores de  $A$  obtidos da Tabela 7 a partir do tamanho de grão da praia ( $D$  mm), a variação de  $A$  foi menor, ficando entre 0,066 a 0,092. A granulometria estimada pelo modelo variou de 0,05 a 0,20 mm, sendo, em média, mais grosseira que o sedimento natural em 0,015 mm (Figura 36).

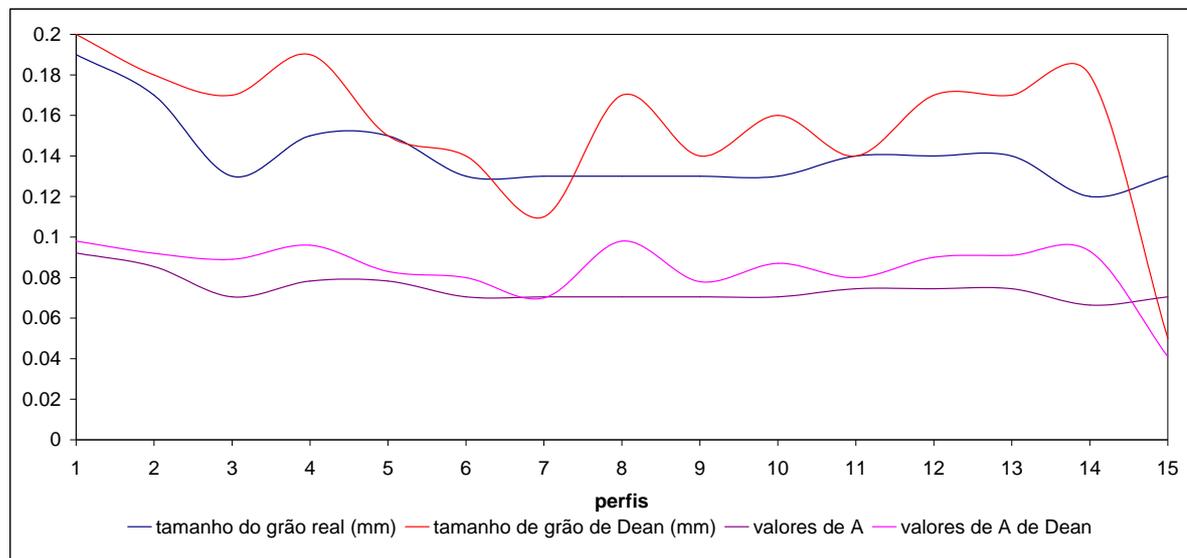


Figura 36 - Variação dos valores médios da granulometria dos 15 perfis de Balneário Camboriú e seus respectivos valores de  $A$ , considerando  $A$  livre no modelo de perfil de equilíbrio.

Rodríguez (1995) avaliou perfis da praia de Plentzia, Espanha, região abrigada pela presença de promontórios, encontrando valores para  $A$  correspondentes a 0,20, o que equivale a uma média granulométrica de 0,75 mm. Constatou, que este valor foi muito alto comparado ao tamanho de grão real do perfil da ordem de 0,24 mm, e o equivalente valor de  $A$  igual a 0,115. Isto explicaria o motivo dos tamanhos de grão sugerido pelo modelo de Dean (1977), para a praia de Balneário Camboriú, ser superior aos sedimentos naturais da praia em alguns dos perfis (Tabela 8).

Com base nos dados obtidos para a enseada de Camboriú, pode-se ver que embora os valores de  $A$  propostos pelo modelo de Dean (1977), não estarem em acordo com o sedimento natural dos perfis, na maioria dos perfis apresentaram uma relação direta, aumentando

conforme o tamanho de grão real. Já na porção sul, mais abrigada, no perfil 15, o valor do parâmetro  $A$  encontrado pelo modelo de Dean (1977), foram menores, sugerindo um tamanho de grão menor, porém não evidenciado no tamanho de grão real da praia. Isto se deve ao fato de haver nesta região a formação de um delta de maré vazante, anterior a construção do molhe, o que diminui bastante a profundidade no local, induzindo o cálculo de um tamanho de sedimento bem mais fino para o local.

Ao relacionar  $A$  com a granulometria da antepraia, considerando  $m$  fixo, como proposto inicialmente por Bruun (1954), significa considerar que perfis que apresentarem a mesma granulometria terão exatamente a mesma forma (Gruber, 2002). Porém, ao analisarmos principalmente a porção norte e central da praia, cujo granulometria apresentou pouca variação, podemos constatar que o fato acima não ocorre, já que são verificadas variações na declividade dos perfis analisados. O mesmo foi constatado por Pilkey *et al.* (1993), em estudo na costa leste dos Estados Unidos, citando que é possível atribuir estas variações laterais somente a diferenças granulométricas.

Os valores de  $A_p$  para a praia de Balneário Camboriú apresentaram médias muito semelhantes ao parâmetro  $A$  de Dean (1977), com valores de 0,086 e 0,084, respectivamente.

Segundo o modelo de Rodríguez (1995), quanto menor o valor de  $A_p$ , menor o gradiente de energia e a declividade do perfil. Comparando os resultados com os perfis medidos e estimados, pode-se considerar a porção sul da praia, por apresentar um menor valor médio do coeficiente de refração (0,85) e, portanto, um maior valor de  $A_p$ , se caracterizaria por um gradiente de declividade mais íngreme comparado aos demais setores. Entretanto, a presença do Rio Camboriú, favorece a uma declividade mais suave que os demais setores. Portanto, pode-se afirmar que a declividade neste caso está sendo influenciada pelo tamanho e aporte sedimentar continental, além da refração de ondas.

#### **4.3.3 Valores de $m$ e Declividade da Antepraia**

Os valores do coeficiente  $m$  para a praia de Balneário Camboriú apresentaram um decréscimo de norte para sul (Figura 37). O setor norte e central não apresentaram diferença no valor de  $m$ , com média de 0,70. No setor sul a média encontrada foi de 0,61.

A declividade dos perfis apresentou uma diminuição em direção ao sul da praia, devido à influência do aporte sedimentar pelo Rio Camboriú e a menor energia das ondas, provocando um acúmulo dos sedimentos nesta região.

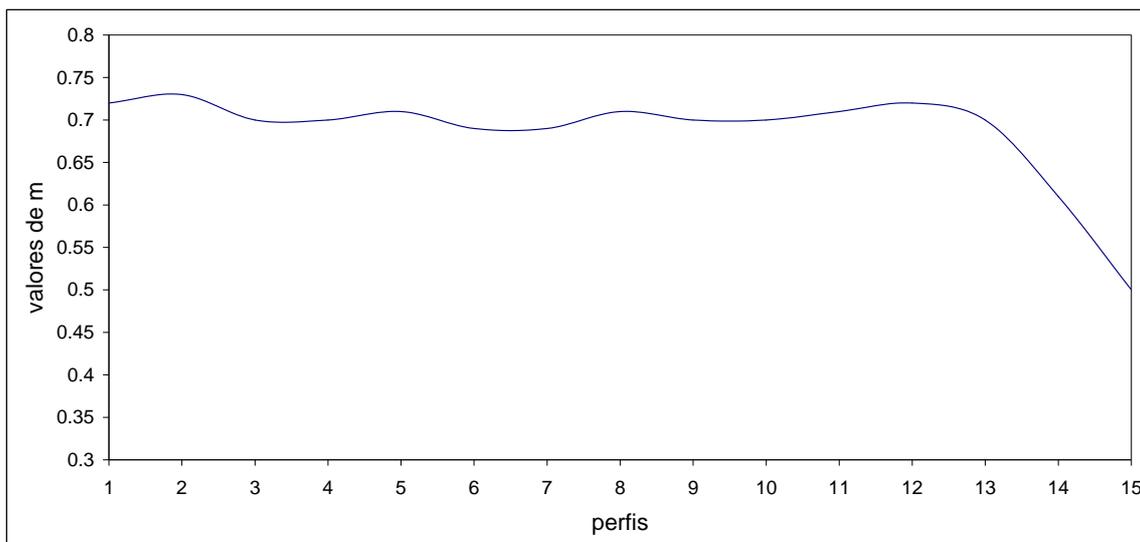


Figura 37 - Variação do coeficiente  $m$  ao longo da enseada de Balneário Camboriú.

A média do valor de  $m$  encontrado para Balneário Camboriú foi similar aos encontrados por Dean (1977) e Work & Dean (1991), entretanto, esta aproximação deve-se a grande diferença dos valores no setor norte e central comparada com o setor sul, aproximando assim ao  $m$  de Bruun (1954).

Dubois (1995), aplicando o modelo de perfil de equilíbrio em Long Island (Nova York) e Mustang-Padre Island (Texas) encontrou valores de  $m$  entre 0,24-0,56 e 0,69-0,94 respectivamente. O autor atribuiu esta variação a história geomorfológica da região, isto é, a relativa abundância de sedimentos nas respectivas localidades. Os valores de  $m$  encontrados para Balneário Camboriú se aproximam do estudo realizado em Mustang-Padre Island permanecendo na maioria dos perfis superiores ao valor médio de 0,67 proposto por Dean (1977).

#### 4.4 Conclusões

A profundidade de fechamento diminuiu da porção norte da enseada para a porção sul, corroborando com o fato da maior energia de ondas na porção norte contribuir para um maior transporte sedimentos para as regiões mais profundas do perfil.

As análises comparativas entre os perfis praias medidos e os perfis praias estimados pelos modelos de Dean e Rodriguez (Anexo 3), mostram elevada correlação entre os perfis P1 e P8. No setor sul, os perfis P9 a P15 mostram um comportamento progressivo de maior

superávit de sedimentos, ou seja, os perfis estimados estão posicionados em cotas inferiores aos perfis medidos, indicando um intenso aporte sedimentar.

Utilizando o valor de  $A$  segundo a granulometria do perfil e valor de  $m$  variável, este se apresentou igual ao modelo com  $m$  fixo e  $A$  encontrado pelo mesmo. Desta forma, pode-se afirmar que o ajuste do modelo ao perfil medido foi satisfatório a todos os perfis.

A aplicação do modelo de Rodríguez (1995) apresentou boa correlação ao modelo de Dean (1977), com algumas particularidades. Isto ocorreu devido ao coeficiente de refração ( $k_r$ ) calculado para a praia se aproximar de 1 (Tabela 8), implicando no ajuste semelhante ao modelo inicialmente descrito.

Com base no exposto acima, pode-se afirmar que o modelo Rodriguez (1995), não apresentou diferenças de valores dos parâmetros do modelo de Dean (1977). Em Balneário Camboriú, verificou-se que esta influência não é significativa, não alterando a forma do perfil descrito pelo perfil de equilíbrio de Dean (1977). Pode-se dizer, portanto, que os principais fatores que controlam a declividade e forma de um perfil praias são devidos a descarga do Rio presente no local que altera principalmente a morfologia da parte sul da praia e as correntes que podem prevalecer ao clima de ondas na redistribuição sedimentar. Porém, vale destacar que para validar esta informação, a continuidade dos levantamentos de campo sobre esses dois fatores pode contribuir para melhorar a interpretação desta hipótese.

Rodríguez (1995) destaca que uma praia entre promontórios, que possua um rio dentro da baía fornecendo sedimentos para a praia, encontra-se em equilíbrio dinâmico quando as correntes longitudinais transportam material ao longo desta, sendo à proporção que entra de material igual a que sai. Assim, pode-se dizer que, pelo fato da área de estudo receber grande quantidade de sedimento no setor sul e os modelos de forma geral se ajustaram ao perfil medido, conclui-se que os perfis encontram-se em estado de equilíbrio.

Os resultados obtidos com a delimitação da profundidade de fechamento dos perfis praias indicam que não há troca de sedimentos a partir das profundidades de 4m e 1,7m nas regiões norte e sul da antepraia respectivamente, em acordo com os resultados do estudo de sedimentologia, apresentado no capítulo anterior, comprovando a estabilidade do fundo além destas profundidades.

## Capítulo 5 - Transporte de Sedimentos

### 5.1 Introdução

Transporte de sedimento é um processo controlado principalmente por fenômenos físicos, como ventos, ondas, marés e correntes litorâneas que são diretamente influenciados por fatores meteorológicos.

As ondas representam o processo marinho de maior influência no selecionamento e redistribuição dos sedimentos depositados nas regiões costeiras. O tipo de quebra da onda, por exemplo, influencia no transporte de sedimentos na zona de surf.

Processos de transformação de ondas em águas rasas como empinamento (*shoalling*), refração, difração e fricção geram padrões de circulação que influenciam no transporte sedimentar na zona costeira, ocasionando a perda da energia de onda e alterações morfológicas da linha de costa (Baptista Neto *et. al.*, 2004).

Salienta-se que para estudos relacionados ao transporte de sedimento os processos de empolamento, refração, difração e fricção são os mais importantes (GIOCI, 2003a, 2003b).

Conhecendo-se estes mecanismos de transporte sedimentar na região litorânea, podem ser estimados os volumes de material envolvidos e se estabelecer cenários e modelos à cerca do comportamento morfológico da linha de costa. Essas considerações são fundamentais para o planejamento da ocupação e o planejamento de projetos de engenharia que venham a interferir na dinâmica sedimentar costeira (Baptista Neto *et. al.*, 2004).

Para o cálculo do transporte de sedimentos por deriva litorânea, na enseada de Balneário Camboriú, foram gerados quatro cenários de refração e difração de ondas para análises dos padrões de correntes costeiras e longitudinais, bem como o transporte de sedimentos associado. Modelagens matemáticas, sobre os processos de refração e dissipação da energia das ondas, foram desenvolvidas anteriormente para esta mesma área, entre eles pode-se citar INPH (2000), que realizou estudos preliminares para a alimentação artificial da praia e Lima (2004), que estudou a possibilidade de instalação de recifes artificiais na enseada para geração de ondas destinadas à prática do surfe e proteção costeira.

## 5.2 Materiais e Métodos

### 5.2.1 Dados de Ondas e Batimétricos

Para a geração dos cenários de refração e difração de ondas foram utilizados os dados de altura significativa de onda ( $H_s$ ), período de pico, ( $T_p$ ) e direção dominante (Dir), apresentados por Araujo *et. al.*, (2003), para a região de Florianópolis (Tabela 3).

Foram escolhidos quatro dados primários modais de ondas para gerar os cenários de refração e difração de ondas:

- ondulação proveniente de Nordeste (NE),  $H_s = 1,25\text{m}$  e  $T_p = 8\text{s}$ ,
- ondulação proveniente de Leste (E),  $H_s = 1,25\text{m}$  e  $T_p = 8\text{s}$ ,
- ondulação proveniente de Sudeste (SE),  $H_s = 1,65\text{m}$  e  $T_p = 14\text{s}$ ,
- ondulação de tempestade proveniente de Leste,  $H_s = 3,5\text{m}$  e  $T_p = 9\text{s}$ .

Os dados batimétricos utilizados foram obtidos de duas fontes secundárias diferentes:

- digitalização das cartas náuticas da DHN e folhas de bordo para todo o litoral catarinense (Anexo 4),
- batimetria de detalhe para a enseada de Balneário Camboriú obtidos de levantamento batimétrico realizado pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH), em Maio de 2000 para a Prefeitura Municipal, realizado com espaçamento entre pontos de 50 m (Figura 38).

O levantamento realizado pelo INPH cobriu toda a enseada de Balneário Camboriú indo até a isóbata de 12m de profundidade. Esta distância da costa foi de suma importância para que os modelos numéricos de refração de ondas realizassem a propagação correta do trem de ondas e conseqüentemente reprodução dos processos de refração.

Para a correção da variação da maré e realização da redução das sondagens ao nível de redução (NR), foi instalada uma régua, próximo à desembocadura do Rio Camboriú e implantado marco denominado Beira Rio. A correção da maré foi realizada automaticamente

pelo software Hypack®. O Datum Horizontal do levantamento foi referenciado ao Córrego Alegre e posteriormente projetado para SAD-69.

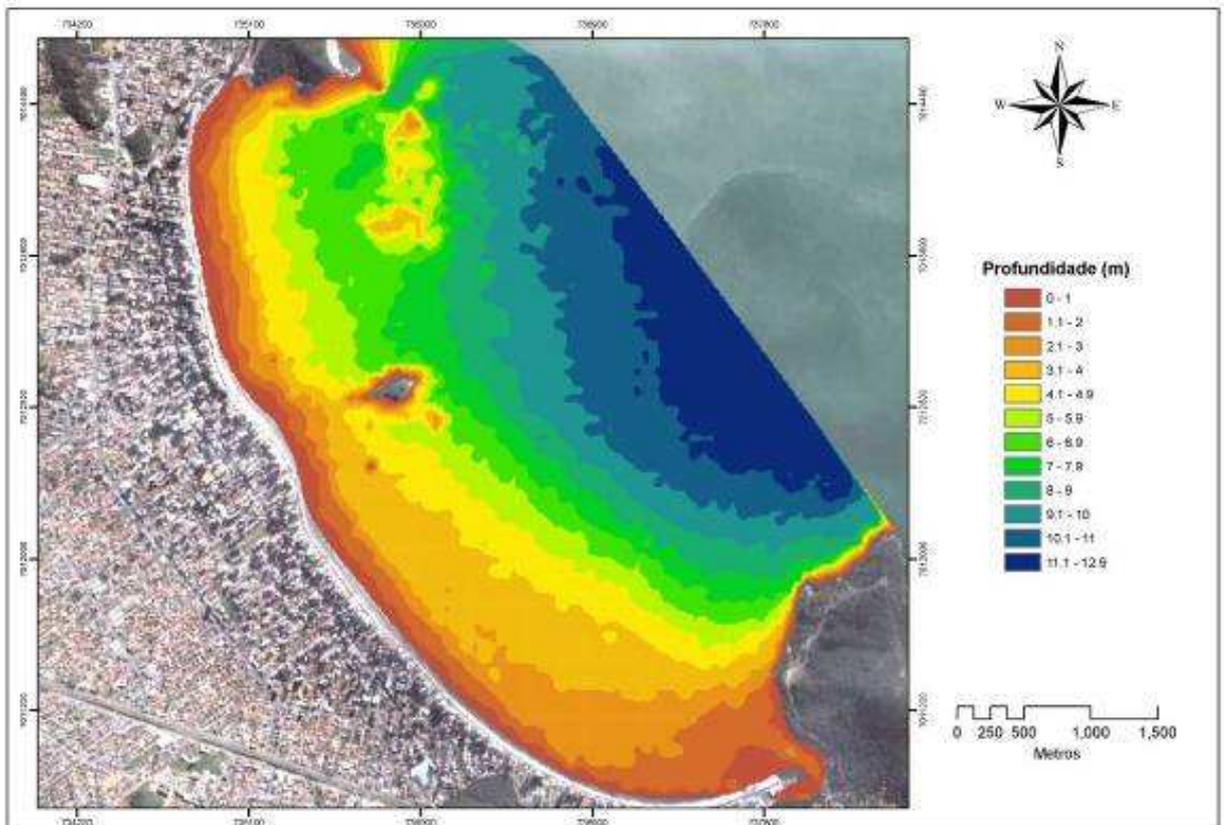


Figura 38 - Batimetria para a enseada de Balneário Camboriú (INPH, 2000).

### 5.2.2 Interpolação da Batimetria

Para a realização da modelagem matemática foi utilizada a interpolação dos dados batimétricos e altimétricos da costa através do interpolador de Krigagem. A escolha deste método foi adotada por ter retornado os menores erros na análise geoestatística.

Foram também geradas malhas diferentes para as profundidades superiores e inferiores a 12 m. A malha para a área profunda possui espaçamento de 250 m entre os nós, enquanto que este espaçamento possui 50 m na área rasa.

### 5.2.3 Modelagem Matemática

Os cenários de refração e difração de ondas foram obtidos utilizando o módulo MOPLA do modelo *Sistema de Modelado Costero - SMC* da Universidade de Cantábria.

O modelo integral de Morfodinâmica de Praias - MOPLA é um programa que permite simular, em uma zona litorânea, a propagação de ondas desde profundidades indefinidas até a

linha de praia. A partir da inserção dos dados de ondas são calculadas as correntes induzidas pelo ponto de quebra e simulada a evolução da morfodinâmica da praia.

O MOPLA é uma ferramenta que pode executar uma série de tarefas, entre elas podemos enumerar:

Propagação de ondas:

- Propagar ondas monocromáticas ou espectrais desde profundidades indefinidas até zonas de praia, incluindo alterações ocorridas devido à refração, difração e dissipação por quebra,
- Comportamento das ondas na zona costeira,
- Cálculo dos regimes médios direcionais de ondas em zonas costeiras.

Correntes:

- Comportamento do sistema circulatório das correntes no sistema praial,
- Determinação do campo de correntes para o cálculo de transporte de sedimentos.

O MOPLA é composto por três diferentes modelos numéricos que representam a evolução morfodinâmica de uma praia, simulando a propagação e transformação de ondas (OLUCA), sistemas de correntes geradas a partir da quebra de ondas (COPLA), gerando cálculos de transporte de sedimentos e a evolução batimétrica na área de estudo (EROS) (Gonzales *et al.* 2007).

A operação do MOPLA baseia-se em informações de batimetria, que define o projeto de estudo. Posteriormente, são criados as malhas de propagação de ondas e os casos que serão modelados sobre essa batimetria.

Os modelos OLUCA, COPLA e EROS trabalham interligados, pois os dados de saída de um modelo são utilizados como dados de entrada no seguinte. Primeiro, calculam-se os campos de ondas para os casos executados no modelo OLUCA, onde os resultados são executados no COPLA para o cálculo de correntes e por fim os dados de velocidade e direção de correntes são utilizados para a determinação do transporte de sedimentos (GIOCCO, 2003).

## OLUCA - MC

O OLUCA é um modelo combinado de refração-difração fracamente não linear, que simula o comportamento de ondas monocromáticas (OLUCA – MC) ou um espectro (OLUCA – SP), em batimetrias irregulares (Gonzales *et al.*, 2007). No presente trabalho, utilizaram-se os modelos de propagação de ondas monocromáticas.

Estes modelos incluem os efeitos de empolamento (shoaling), refração, dissipação de energia por fricção com o fundo e quebra da onda, difração e interação onda-corrente.

A equação que governa os cálculos nestes modelos é a da aproximação parabólica da equação da pente suave, equação 26.

$$\bar{\nabla} \left( c c_g \bar{\nabla} \eta \right) + \sigma^2 \frac{c_g}{c} \eta = 0 \quad (26)$$

onde:

$$\bar{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_j} \quad j = 1, 2 \quad (27)$$

$$c = \sqrt{\left( \frac{g}{k} \right) \tanh kh} \quad \text{Celeridade da onda} \quad (28)$$

$$c_g = c \frac{\left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)}{2} \quad \text{Celeridade de grupo} \quad (29)$$

Onde  $h(x,y)$  é a profundidade local de água, e  $g$  a aceleração da gravidade. O número de onda local  $k(x, y)$ , está relacionado com a frequência angular,  $\sigma$ , e a profundidade,  $h$ , mediante a relação de dispersão linear, equação 30.

$$\sigma^2 = g k \tanh kh \quad (30)$$

O perfil da onda é determinado por:

$$\eta = A(x, y) e^{i\sigma} \quad (31)$$

Sendo que,  $A(x, y)$  é a amplitude complexa com informação sobre a fase e a amplitude real da onda.

Tanto OLUCA – MC como OLUCA – SP são, respectivamente, derivações dos modelos REF/DIF 1 (Kirby & Dalrymple, 1992) e REF/DIF S (Kirby & Zkan, 1994).

O modelo apresenta algumas limitações em relação à propagação, aos contornos e condições iniciais e por dimensionamento do código do programa de propagação.

Em relação à propagação, se aplica o modelo em ambientes onde os fenômenos de refração, difração, empolamento (shoaling) e a quebra da onda predominam. Não se aplica onde o fenômeno da reflexão ocorre constantemente.

Apresenta outras limitações, em relação à declividade do ambiente, onde essa deve ser suave, com uma relação aproximada de 1:3 e variação do ângulo de incidência das ondas sobre as malhas não podendo ser maior que  $55^\circ$ , pois a partir desses valores o modelo começa a executar os cálculos com erros.

Para esse último caso, recomenda-se orientar as malhas na direção principal de propagação das ondas.

Para limitações por contorno, pode se optar (1) por contornos abertos ou reflectivos; (2) devem-se evitar variações bruscas de profundidade dentro da zona de estudo e (3) recomenda não incluir na área de estudo contornos laterais que alternem água – terra – água.

Para condições iniciais, na primeira fila das malhas se definem as condições iniciais de ondas (altura, período e direção), o modelo propaga ondas em profundidades maiores que 0.3m, isolinhas em terra estão limitadas a 7 metros e há limitações por tamanhos máximos e mínimos dos elementos que compõem as malhas.

## **COPLA – MC**

Para a execução deste modelo, são necessários os dados de saída do modelo OLUCA – MC. Com essa informação serão calculados os tensores de radiação, em cada nó da malha para a área de estudo, que são os geradores de correntes geradas pelas ondas.

Esse modelo resolve as equações de fluxo dentro da zona de quebra. São as equações médias do movimento e a equação da continuidade. O modelo de correntes pela quebra de ondas resolve a equação de Navier-Stokes, integradas na direção vertical e média dos períodos de ondas.

Os campos de correntes geradas e variações do nível médio são determinados a partir do cálculo dos gradientes do tensor de radiação. Os resultados obtidos são os campos vetoriais de velocidades e o campo de níveis.

## **EROS**

O modelo EROS calcula o transporte de sedimentos em suspensão e no fundo, com base no campo de ondas e no campo das correntes geradas pela quebra das ondas.

Esse modelo resolve as equações de fluxo de sedimentos dentro da zona de surf. É um modelo bidimensional e horizontal de evolução morfológica de uma praia em planta.

Os dados de entrada para esse modelo são os resultados das propagações de ondas (OLUCA) e de correntes (COPLA), somado a estas informações granulométricas da área de estudo.

Divide-se em dois modelos, o de erosão e sedimentação inicial (ESI) e o modelo de evolução morfológica (MEM), sendo este último aplicado no presente projeto.

O ESI avalia a variação da batimetria, sem levar em conta que essa variação acarreta em alterações na hidrodinâmica, causadas pelas ondas e correntes. Utiliza menor tempo computacional para realizar os cálculos, com relação ao modelo MEM. Esse tipo de modelo é empregado para se conhecer a tendência inicial de erosão e sedimentação de uma praia submetida a condições hidrodinâmicas constantes.

Utiliza a equação da conservação do sedimento, aceitando que no intervalo de duração de um evento de tempestade não há alteração na hidrodinâmica.

O MEM avalia a variação da batimetria e sua influência na hidrodinâmica local. Esse modelo é aplicado quando se deseja obter uma estimativa das variações da batimetria de uma praia frente à ação de um temporal.

Com a alteração da batimetria devido a ação das ondas e correntes, calcula-se novamente a evolução da batimetria até que se termine o tempo de simulação. O tempo

máximo de simulação para esse tipo de modelo é de 72 horas, porém o temporal analisado neste trabalho foi de 12 horas.

A formulação empregada para o cálculo do transporte de sedimentos foi a de Solsby.

### **5.3 Resultados e Discussão**

Este capítulo apresenta os resultados para quatro cenários de refração e difração de ondas, padrões de correntes costeiras e longitudinais, bem como o transporte de sedimentos para a enseada de Balneário Camboriú.

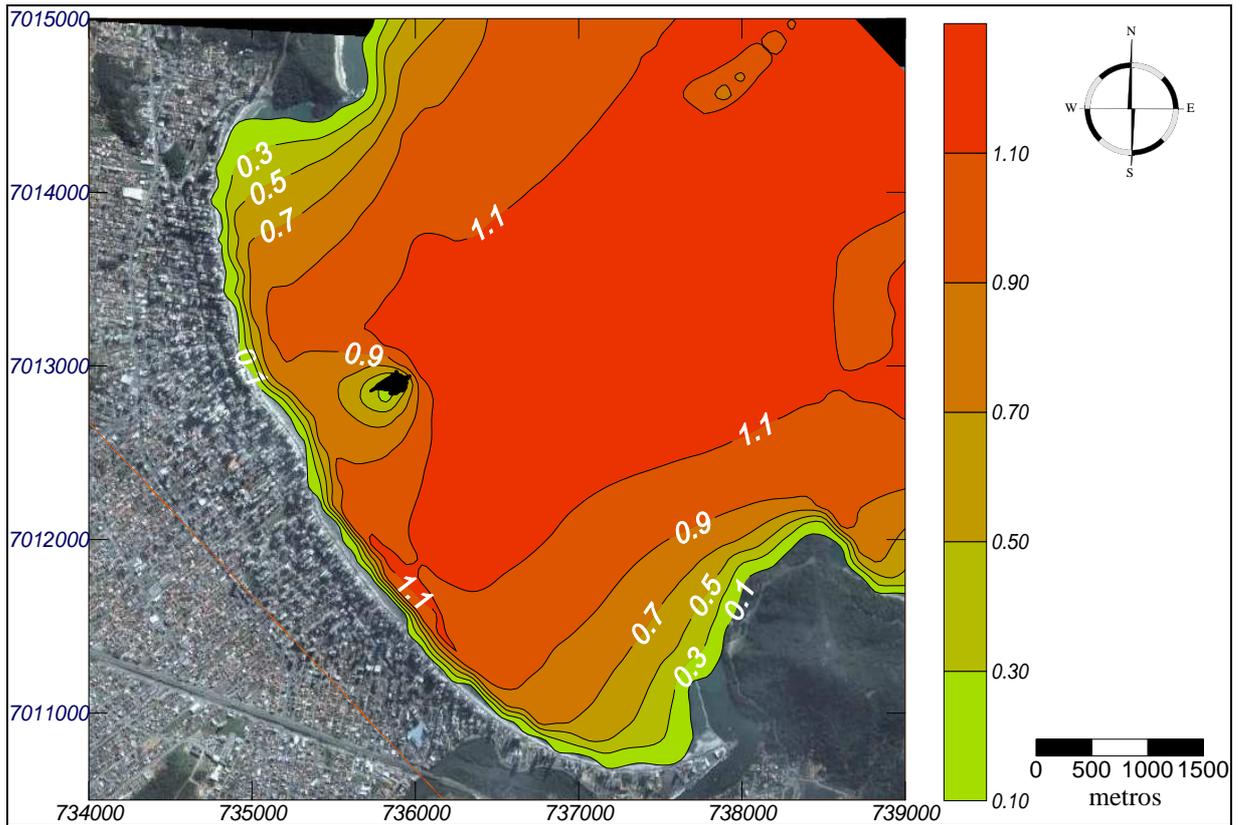
O primeiro cenário foi desenvolvido a partir de ondulações provenientes do quadrante nordeste ( $45^\circ$ ), altura de 1,25 m e período de 8 s, que é o espectro de ondas predominante para a região centro-norte do Estado de Santa Catarina.

#### **5.3.1. Primeiro Cenário – Ondulação de NE.**

A Figura 39 apresenta os resultados da simulação com o software MOPLA quanto às alturas de propagação das ondas na enseada. Na arrebentação se observam ondas com alturas entre 1,0 e 2,0m, semelhante aos valores obtidos por INPH (2000) e Lima (2004). As maiores alturas foram verificadas na região ao sul da Ilha das Cabras e as menores alturas ao sul da enseada, em acordo com os resultados apresentados por Temme *et al.*, (1997). A maior concentração de energia ao sul da Ilha das Cabras é devido a esta região estar diretamente exposta ao quadrante nordeste.

Na região norte da enseada existe uma diminuição da energia da onda devido à presença de um parcel rochoso, localizado a 6 m de profundidade, que favorece a dissipação da energia de ondas neste local. As porções extremas da enseada, a norte e sul, apresentam altura de arrebentação de onda inferior a 0,20 m, devido à proteção dos promontórios e também pela estrutura do molhe na desembocadura do Rio Camboriú.

A Ilha das Cabras exerce uma proteção natural da praia às ondulações, favorecendo a deposição de sedimentos arenosos no perfil praiar e o desenvolvimento de um tómbolo, conforme se observa na Figura 39.

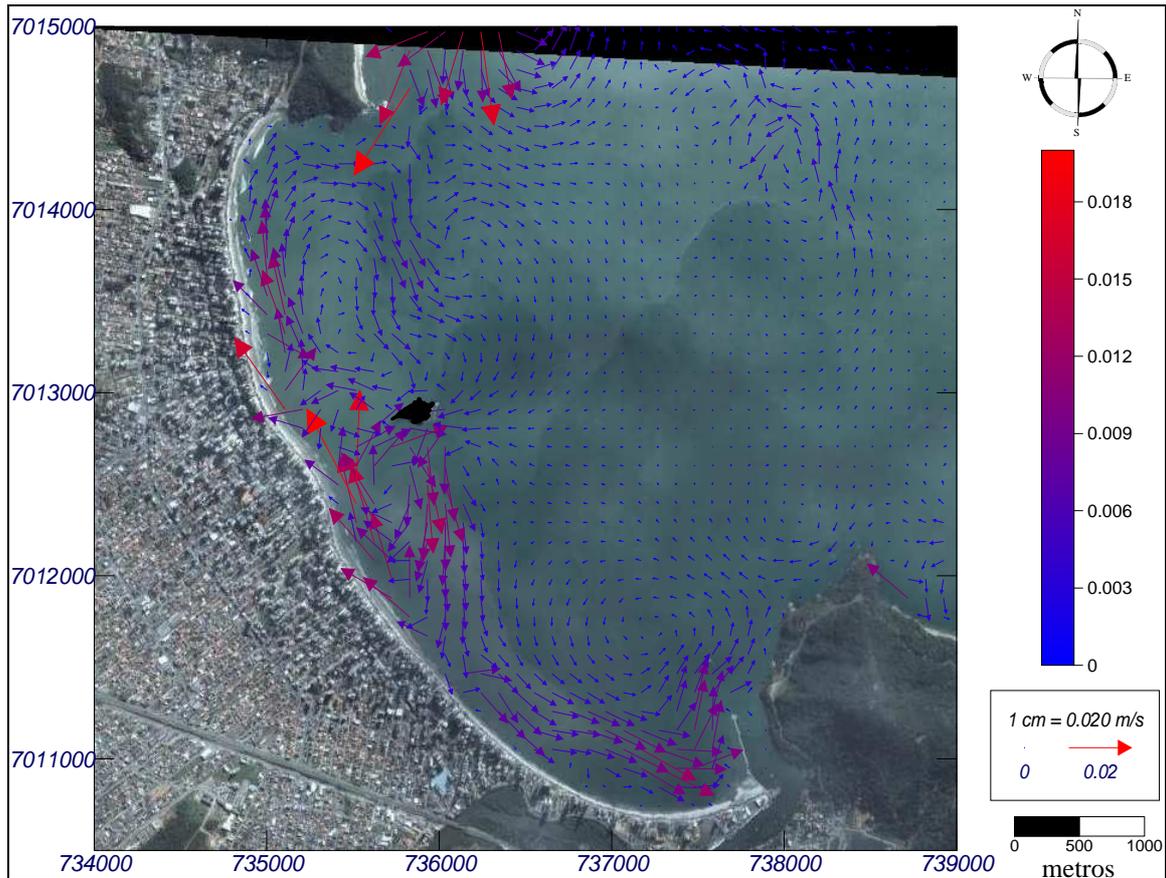


**Figura 39** - Propagação da altura da onda na enseada, simuladas por ondulações provenientes de NE (Dir = 45°), altura de 1,25 m e período de 8 s.

Os vetores de correntes gerados pela quebra das ondas provenientes de NE apresentam velocidades de até 4cm/s, nos locais de concentração das ondas a sul da Ilha das Cabras. O campo de correntes, sob estas condições de ondulação, diminui em intensidade junto ao promontório das Laranjeiras onde são verificadas velocidades entre 1 a 3cm/s (Figura 40).

Os vetores de correntes indicam a existência de deriva litorânea e, portanto de troca de sedimentos entre as células, tanto na direção sul, quanto na direção norte ao longo da enseada. Os vetores indicam também a inexistência de correntes perpendiculares à praia.

Também, não se verificada a presença de correntes em intensidade suficiente que possibilite o transporte de sedimentos para fora da enseada de Balneário Camboriú, demonstrando que este espectro de onda faz a enseada se comportar como um grande sistema fechado quanto a troca de sedimentos.



**Figura 40** - Vetores de correntes gerados por ondas provenientes de NE (Dir = 45°), altura de 1,25 m e período de 8 s na enseada.

O transporte potencial de sedimentos por ondulações de NE é da ordem de até  $0,3\text{m}^3/\text{hora}$  por m linear de praia, na porção ao sul da Ilha das Cabras. Este volume de sedimentos é mobilizado preferencialmente em direção ao norte da enseada. O transporte de sedimentos nas extremidades da enseada é praticamente nulo, em virtude das fracas correntes. Observa-se que parte dos sedimentos eventualmente erodidos da praia é transportada no máximo um pouco além da zona de surfe (Figura 41).

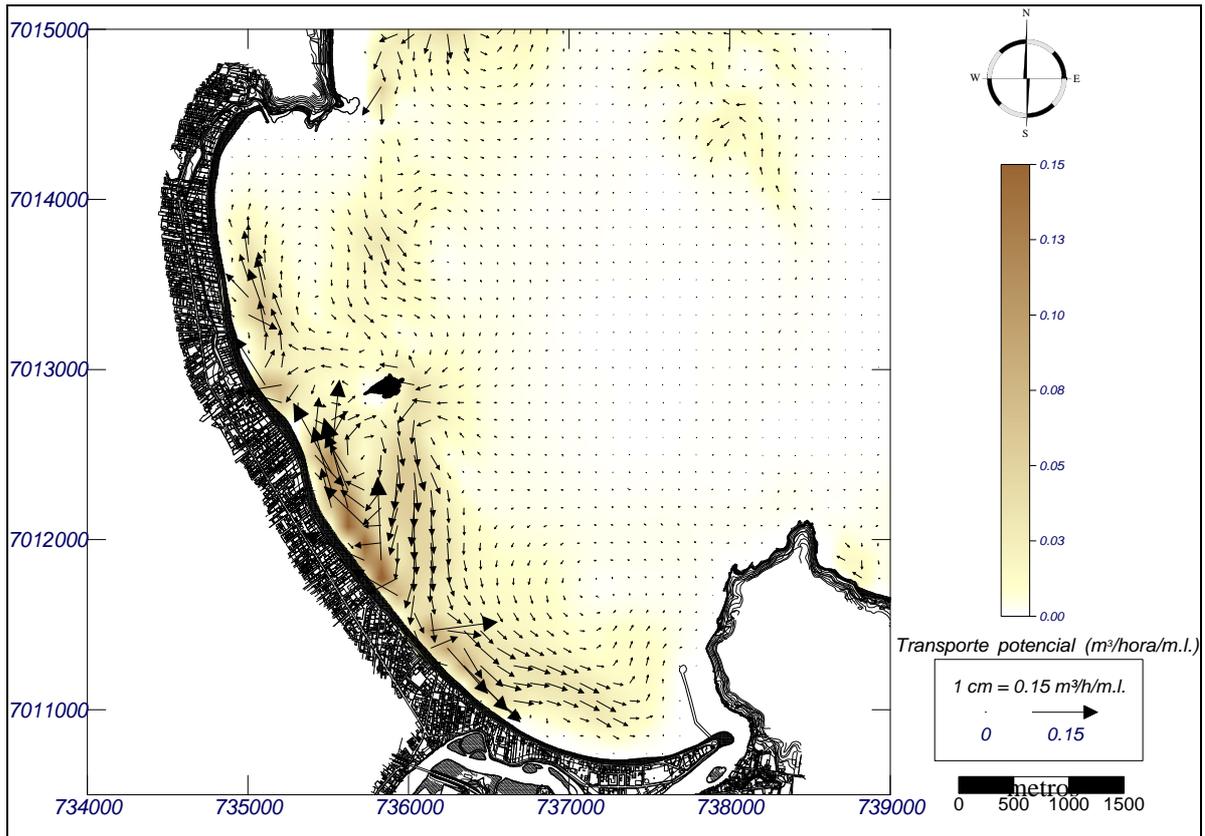
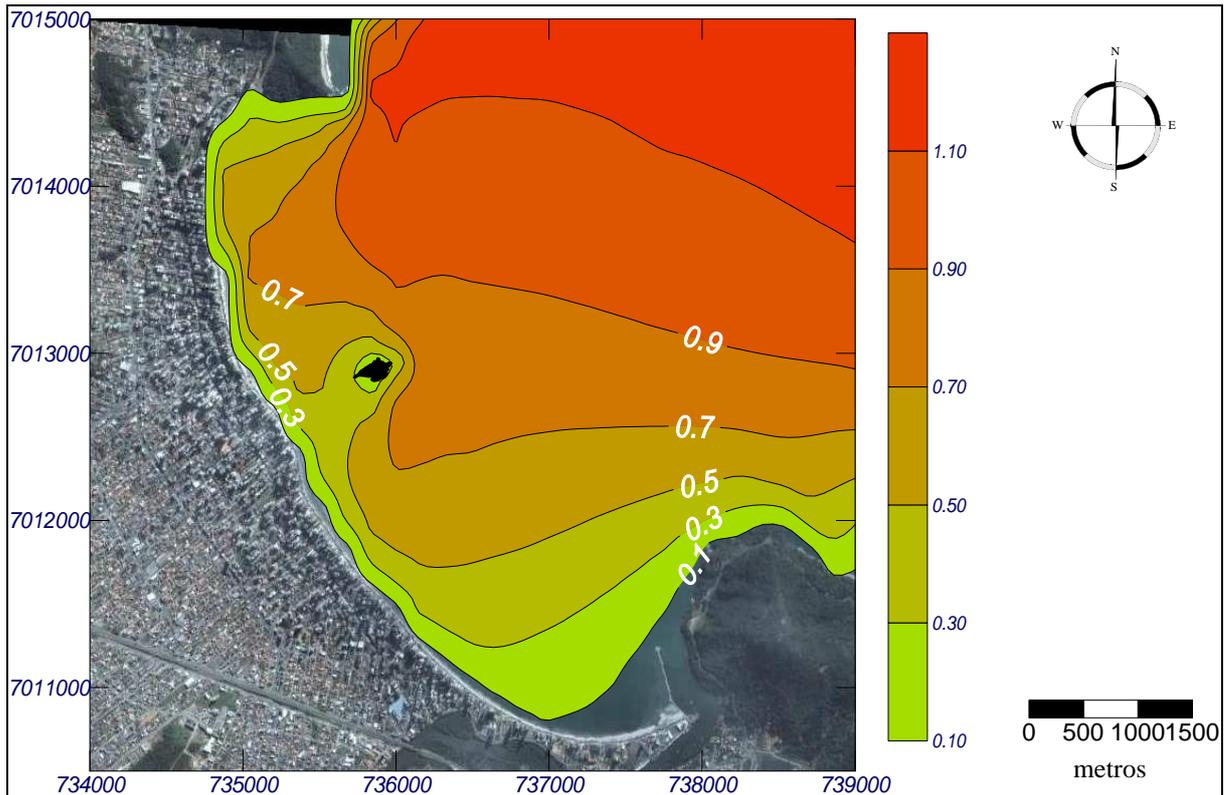


Figura 41 - Transporte de sedimentos por ondulações de NE (Dir = 45°), altura de 1,25 m e período de 8 s.

### 5.3.2. Segundo Cenário – Ondulação de E.

O espectro de ondulações provenientes do quadrante leste (90°) foi representado por uma altura de 1,25 m e período de 8 s. A entrada destas ondulações na enseada gera dois locais bem distintos de concentração energia, ao sul e norte da Ilha das Cabras, a semelhança do cenário anterior, entretanto com altura de onda no ponto de quebra inferior, da ordem de 0,6 m. Estes dois locais estão separados por uma zona de sombra atrás da ilha onde a altura de arrebentação é de 0,4m.

No terço sul da enseada a altura da arrebentação é inferior a 20 cm, devido provavelmente ao efeito de difração das ondas junto a Ponta das Laranjeiras (Figura 42).



**Figura 42** - Propagação da altura da onda, simuladas por ondulações de E (Dir = 90°), altura de 1,25 m e período de 8 s.

A Figura 43 apresenta as correntes geradas dentro de enseada de Balneário Camboriú pelas ondulações do quadrante leste, nota-se que a velocidade máxima de corrente é da ordem de 1cm/s, no extremo norte da enseada, associadas à arrebentação das ondas nesta região que pode alcançar até 0,6m de altura.

Comparativamente, o padrão das correntes geradas dentro da enseada é de maneira geral inferior às ondulações provenientes de NE, por estas sofrerem menos os processos refrativos. Também, estas velocidades de correntes não são capazes de transportar sedimentos da praia para a antepraia.

O transporte potencial gerado pelas ondulações provenientes de E apresentou valores bem baixos, inferiores a  $0,1\text{m}^3$  por hora, entre as células e concentra-se essencialmente no extremo norte da enseada, intensificada pela presença do promontório nesta região (Figura 44).

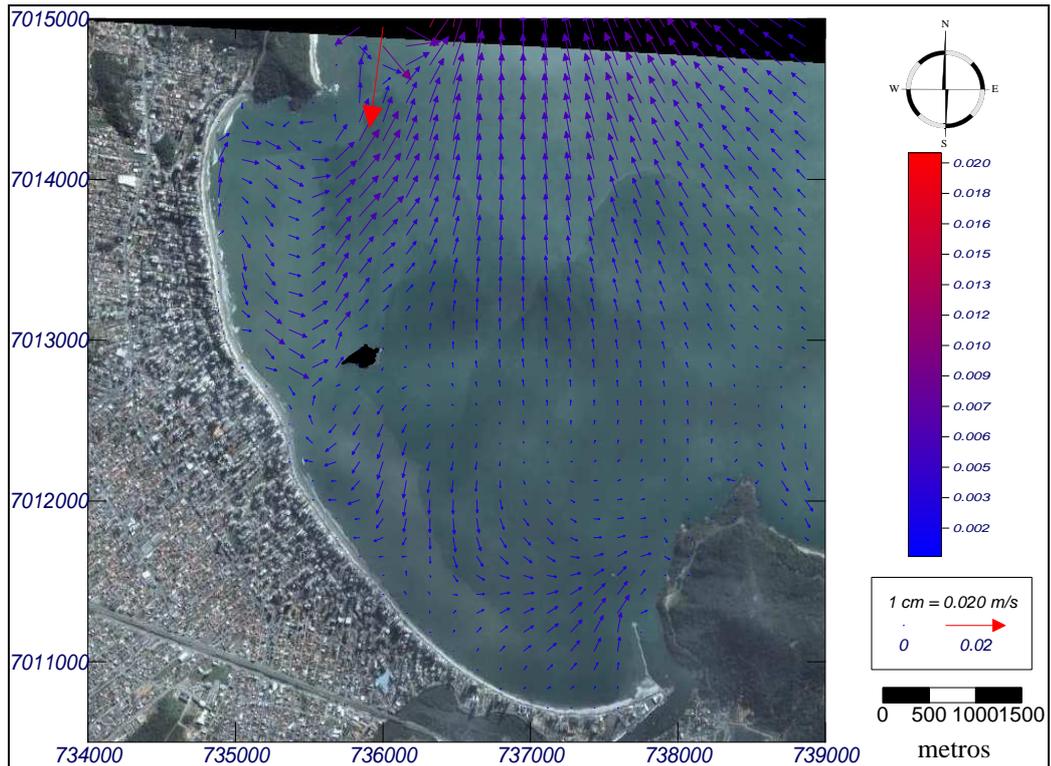


Figura 43 - Correntes geradas na enseada por ondas de E (Dir =  $90^\circ$ ), altura 1,25m e período de 8s.

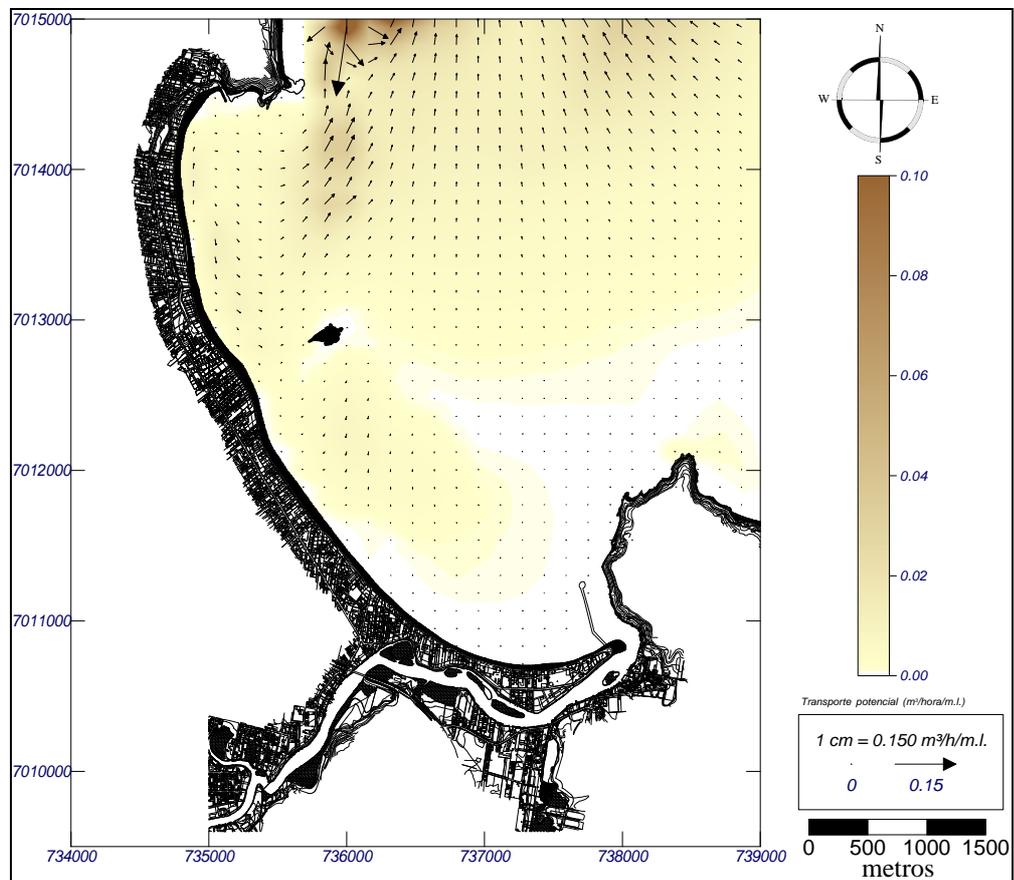


Figura 44 - Transporte de sedimentos gerado por ondulações de E (Dir =  $90^\circ$ ), altura de 1,25m e período de 8s.

### 5.3.3. Terceiro Cenário – Ondulação de SE.

As ondulações provenientes do quadrante SE ( $135^\circ$ ), com altura de 1,65m e período de 14s, são conhecidas pela elevada densidade de energia, entretanto não adentram a enseada, passando ao largo e causando pouca influência sobre a intensidade das correntes e o transporte de sedimentos arenosos.

As ondas dentro da enseada possuem altura de arrebentação inferior a 20 cm de altura (Figura 45). As correntes e o transporte de sedimentos também podem ser considerados insignificantes (Figuras 46 e 47). As ondulações provenientes do quadrante S, por possuírem um ângulo de incidência maior que as ondas de sudeste apresentam comportamento semelhante.

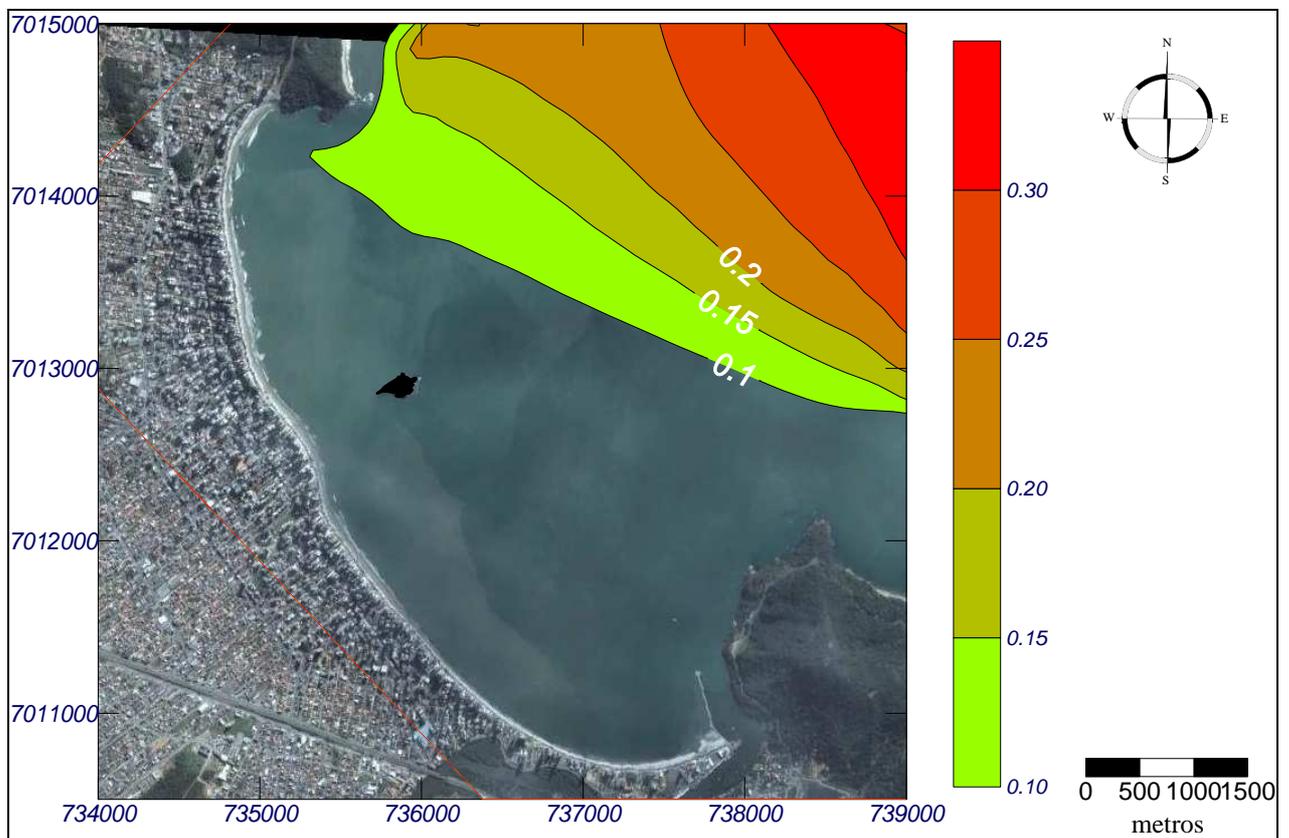


Figura 45 - Propagação da altura da onda, simuladas por ondulações de SE ( $Dir = 135^\circ$ ), altura de 1,65 m e período de 14 s.

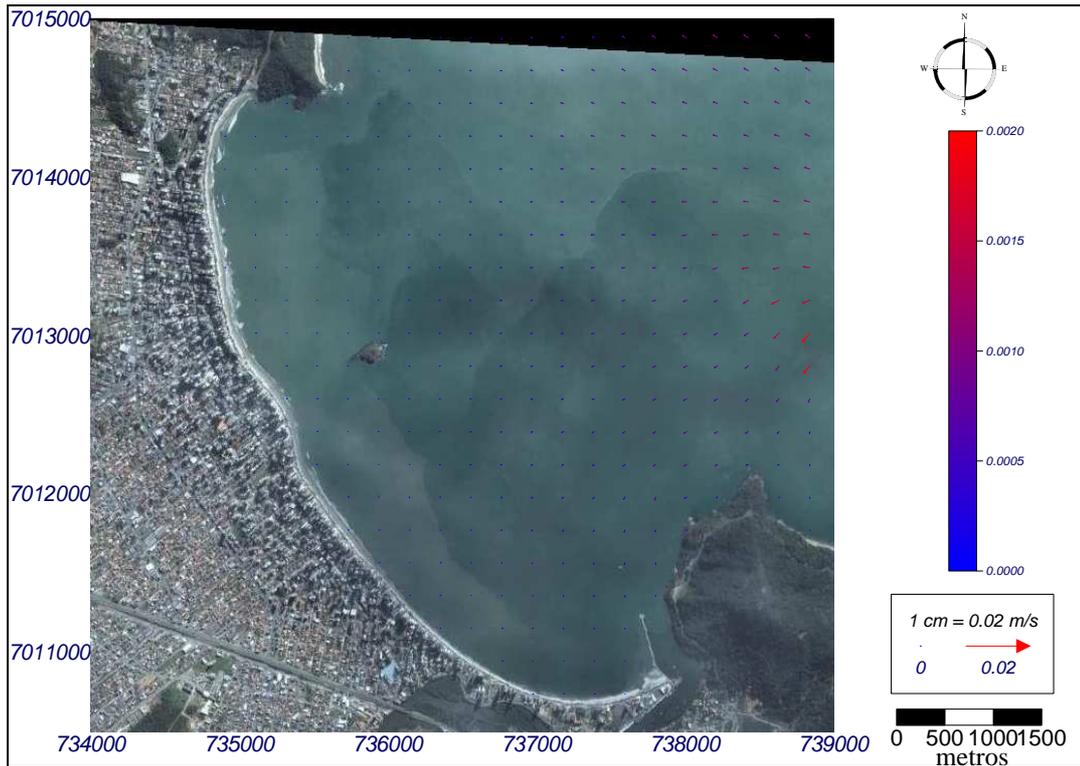


Figura 46 - Correntes geradas por ondas provenientes de SE ( $135^\circ$ ), altura 1,65 m e período de 14 s na enseada de Balneário Camboriú.

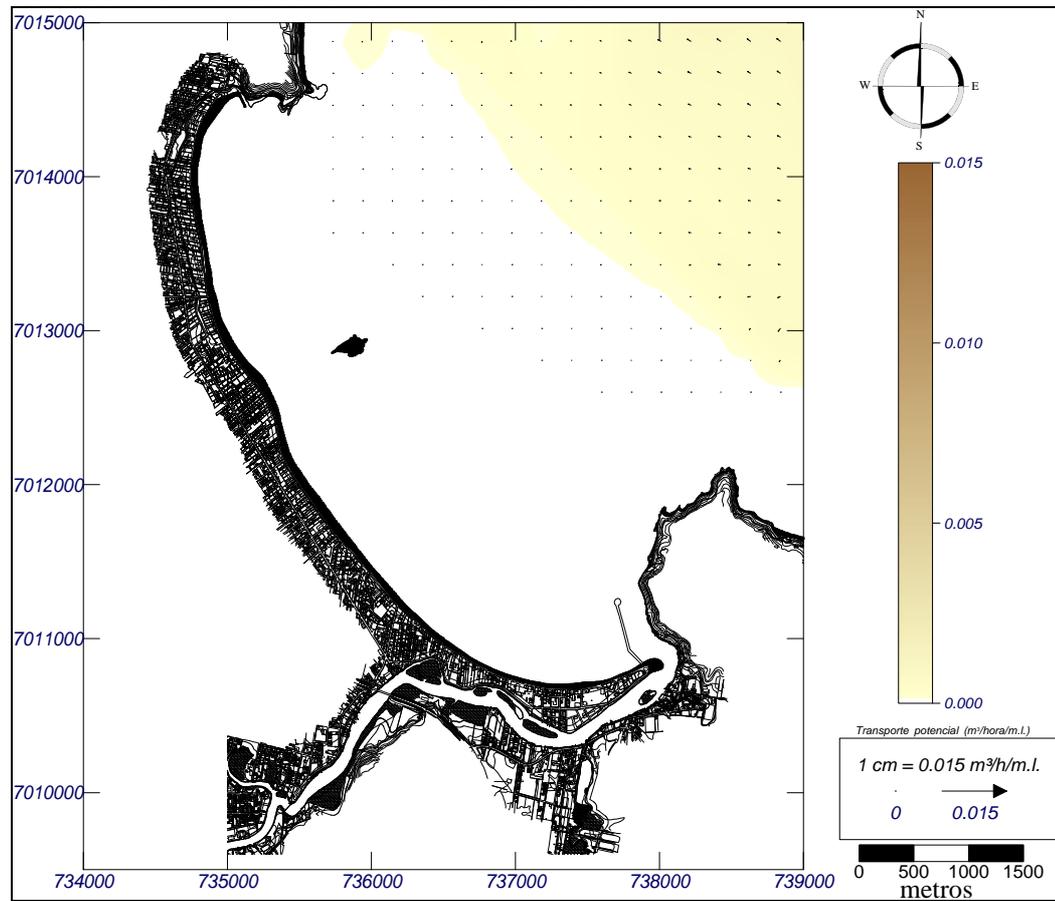


Figura 47 - Transporte de sedimentos gerado por ondas provenientes de SE ( $135^\circ$ ), altura 1,65m e período de 14s na enseada de Balneário Camboriú.

### 5.3.4. Quarto Cenário – Ondulação de Tempestade.

As ondulações de maior energia que alcançam o interior da enseada ocorrem somente em eventos esporádicos, associadas a tempestades provenientes do quadrante E ( $90^\circ$ ). As ondulações apresentam altura significativa de até 3,5m e período de 9s. Estas tempestades geram alturas no ponto de quebra de até 2m no norte da enseada, 1,4m na porção ao sul da Ilha das Cabras, e no extremo sul diminuem para menos de 20cm, devido aos efeitos de difração da Ponta das Laranjeiras (Figura 48).

As correntes costeiras geradas dentro da enseada se propagam de modo paralelo à praia, com direção sudoeste e velocidades de até 5cm/s. Na porção sul da enseada verifica-se a formação de correntes que tendem contornar a Ponta das Laranjeiras. A velocidade destas correntes pode impedir a não deposição de sedimentos finos (silte e argila) no fundo desta (Figura 49), como observado no mapa de fácies sedimentares (Figura 21).

O transporte potencial gerado pelas tempestades de leste apresenta valores que chegam a  $2\text{m}^3$  por hora, sendo maiores no extremo norte da enseada e com diminuição gradual para a porção sul da mesma (Figura 50).

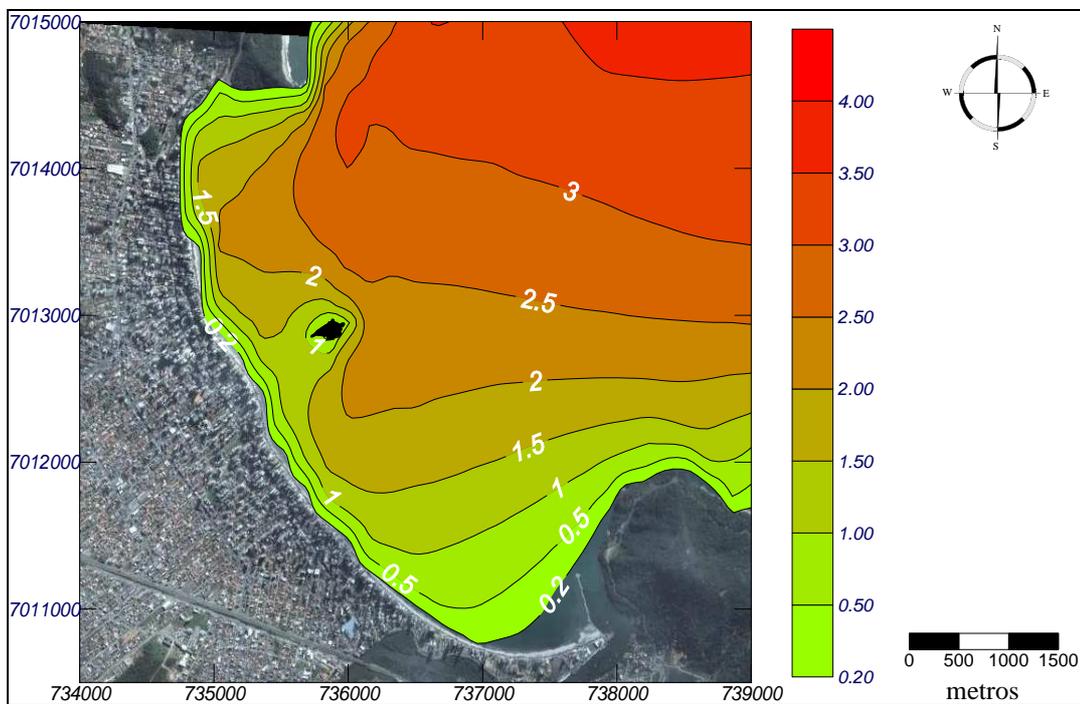


Figura 48 - Propagação da altura da onda, simulada por ondulações provenientes de E ( $90^\circ$ ), altura de 3,5m e período de 9s.

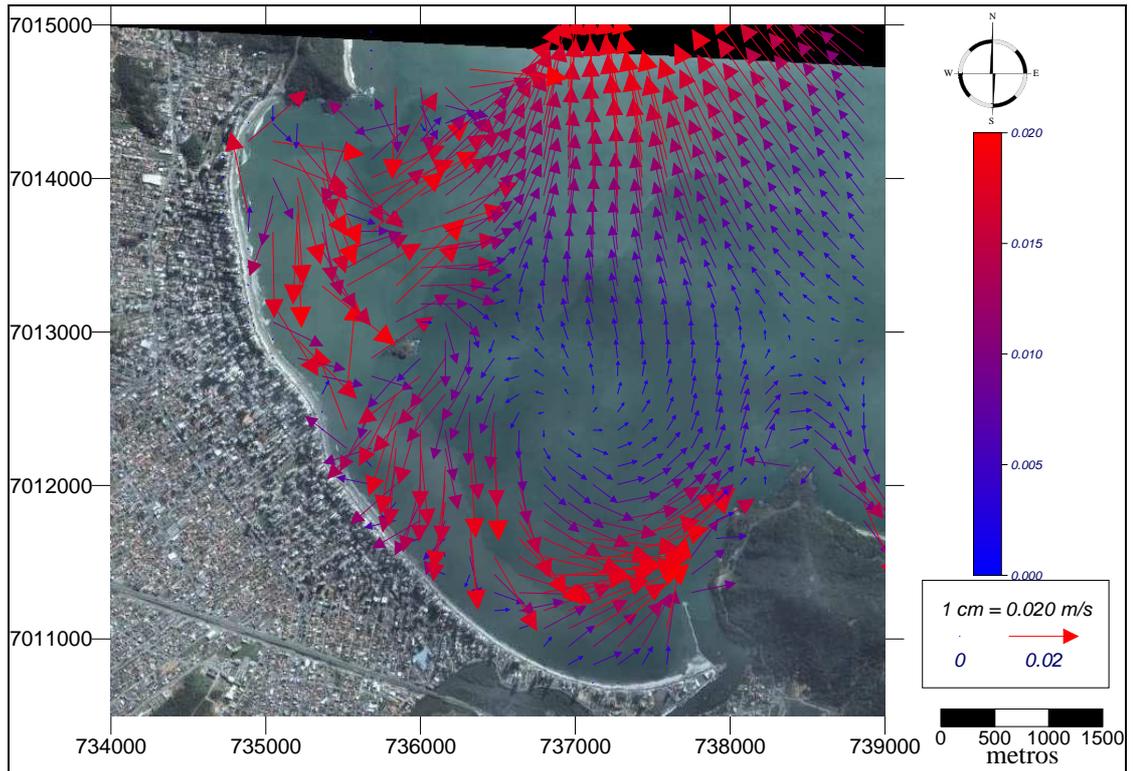


Figura 49 - Correntes geradas por ondas provenientes de E (90°), altura 3,5m e período de 9s na enseada de Balneário Camboriú.

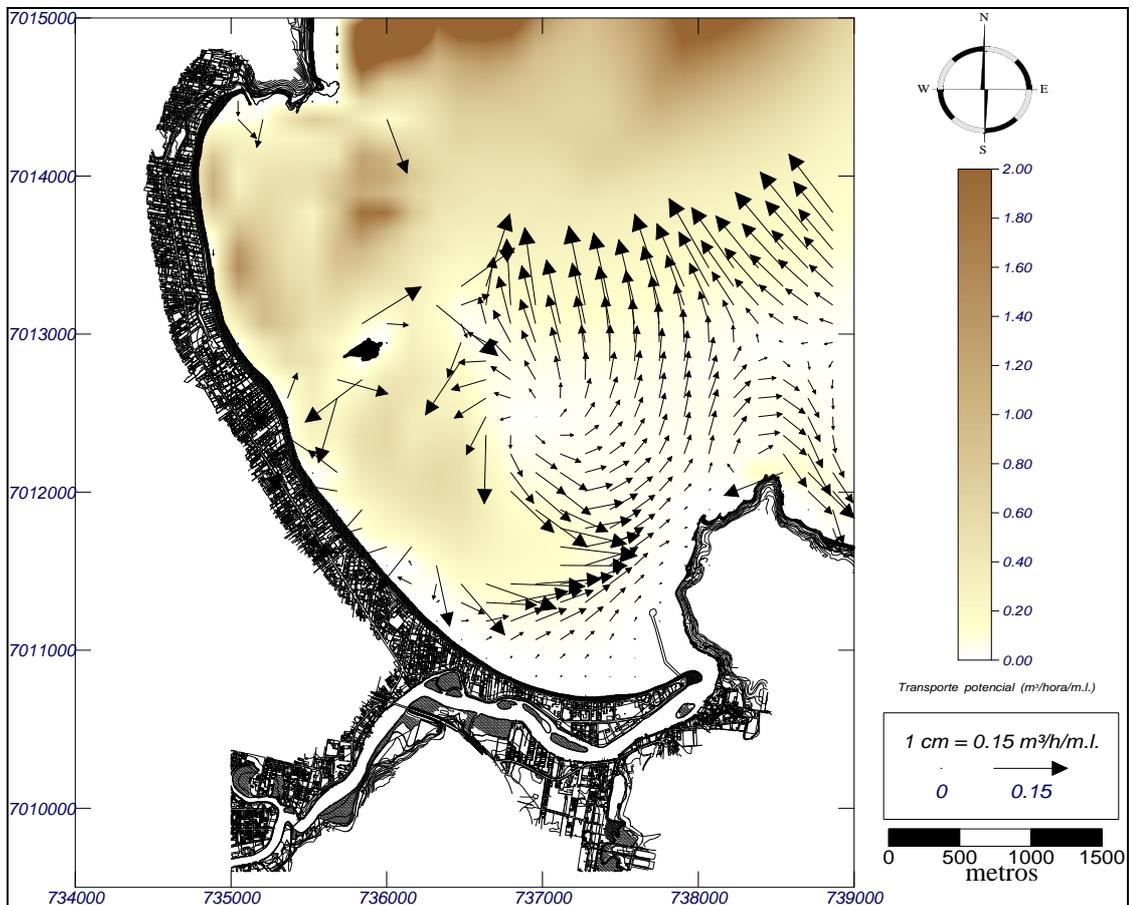


Figura 50 - Transporte de sedimentos gerado por ondas provenientes de E (90°), altura 3,5m e período de 9s na enseada de Balneário Camboriú.

## 5.4 Conclusões

As ondulações provenientes dos quadrantes nordeste e leste são as ondulações que atingem a enseada com possibilidade de gerar correntes costeiras e longitudinais com intensidades de transportar sedimentos arenosos entre as células costeiras. As alturas de arrebatção máximas para estas ondulações foram de 1 e 0,6m respectivamente. Em eventos de tempestade as ondulações dentro da enseada podem alcançar 2 m de altura.

As correntes geradas dentro da enseada de Balneário Camboriú variaram de 1 a 4cm/s para as ondulações provenientes de leste e nordeste respectivamente. Sendo que estas ocorrem paralelas à linha de costa, possibilitando a troca de sedimentos entre as células. Em condição de tempestades as correntes podem atingir velocidades de até 5cm/s.

Não foi verificada a possibilidade de troca de sedimentos entre a praia e a região de antepraia, comprovando também que os sedimentos são mobilizados até a profundidade de fechamento dos perfis praias de 4m. Durante tempestades a intensificação das correntes junto ao promontório da Ponta das Laranjeiras pode explicar a não deposição de sedimentos finos neste local.

Os cenários de refração, difração de ondas e transporte de sedimentos mostra que a enseada se comporta como uma célula fechada, não havendo troca entre esta e a região de antepraia, portanto, gerando um balanço arenoso nulo entre estes dois ambientes.

## Capítulo 6 - Perda de Sedimentos Através dos Banhistas

### 6.1 Introdução

A enseada de Balneário Camboriú que se desenvolve entre os promontórios da Preguiça e das Laranjeiras, localizados nas extremidades norte e sul, respectivamente (Figura 11), possui uma extensão de linha de praia de aproximadamente 6 km, uma largura média de 17 m e constituída areia fina a muito fina (Temme *et al.*, 1997).

A localização, o tamanho e as facilidades de acesso a esta praia, principalmente após a construção da BR-101 na década de 60, se constituíram em atrativos para desenvolvimento e transformação da praia e da planície costeira adjacente num imenso pólo de turismo. Mesmo sem um ordenamento aos usos e ocupação desse espaço, de modo a estimular um desenvolvimento sustentável de toda orla, a praia recebe anualmente 6 milhões de pessoas, sejam turistas, veranistas e moradores.

Estes visitantes têm acesso livre à praia, tanto para a faixa de areia, como para o banho. A circulação de todas estas pessoas causa um impacto físico de retirada de areia, seja no próprio corpo, em objetos levados à praia ou mesmo nos trajes de banho. Portanto, foi formulada a hipótese desta variável contribuir ao desequilíbrio no balanço de sedimentos pela provável perda de significativos volumes em consequência direta do transito de pessoas.

Entre as variáveis controladoras do balanço de sedimentos, apresentadas no capítulo 1, este tipo de perda de sedimentos por uma determinada célula praias não foi considerada no modelo proposto por Rosati & Kraus (1999). Nos capítulos 2, 3, 4, e 5, foram analisados o comportamento das variáveis sedimentológicas, morfológicas e hidrodinâmicas sobre a troca de sedimentos entre as células, a taxa de areia que entra no sistema e a taxa que sai do compartimento litorâneo, ou seja, da enseada.

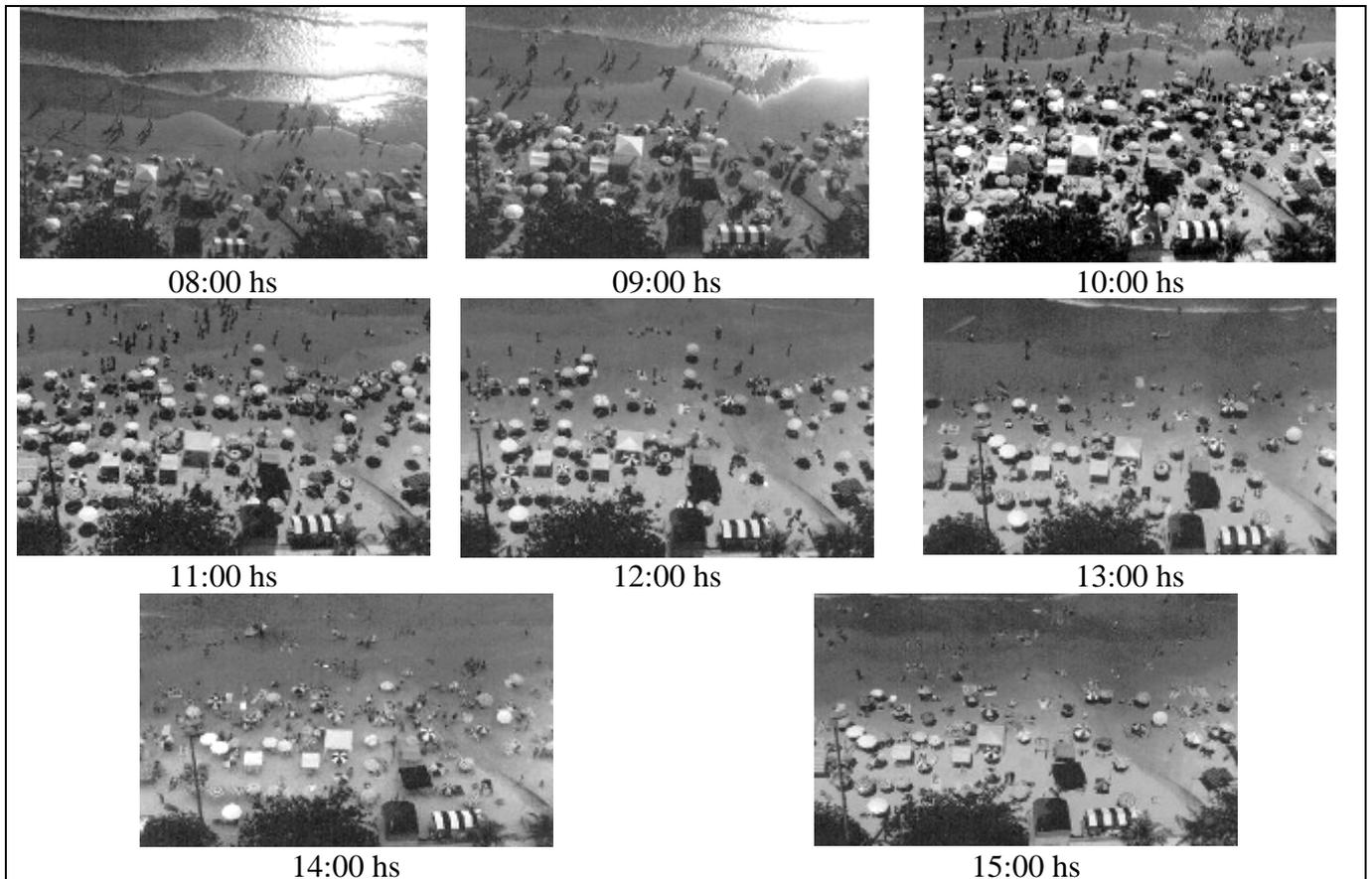
Este capítulo tem por objetivo estimar o volume de sedimentos que são retirados da praia de Balneário Camboriú pelos banhistas. E o quanto este volume representar para o balanço sedimentar negativo da praia.

### 6.2 Materiais e Métodos

#### 6.2.1 Estimativa do Fluxo de Pessoas nas Praias

Para desenvolvimento deste método de estudo foram tomadas como referência um determinado número de visitantes, num determinado trecho da praia. As amostragens foram

realizadas entre os dias 21 de dezembro de 2003 e 21 de março de 2004 (verão), duas vezes por semana, no horário de pico populacional às 10:00h (Polette & Raucci, 2000) (Figura 51).



*Figura 51 - Permanência das pessoas na praia central de Balneário Camboriú ao longo do dia (Polette & Raucci, 2000).*

A praia foi subdividida em regiões de adensamento populacional através de observações visuais de acordo com a densidade e a homogeneidade de sua distribuição sobre a superfície da faixa de areia ao longo de toda sua extensão. As regiões foram classificadas da seguinte forma:

- região I com superfície de praia por banhista igual ou maior  $25\text{m}^2/\text{banhista}$  (Figura 52A),
- região II com superfície de praia por banhista igual à aproximadamente  $10\text{m}^2/\text{banhista}$  (Figura 52B),
- região III com superfície de praia por banhista menor que  $5\text{m}^2/\text{banhista}$  (Figura 52C).

Na região I a contagem das pessoas foi realizada diretamente com o auxílio de um contador manual; e nas regiões II e III através de análises em perfis com 10 m de largura, sendo o número de pessoas contado e extrapolado para a área total do adensamento. Os perfis estendiam-se entre o limite superior do pós-praia à zona de surfe.



Figura 52 - Regiões com diferentes adensamentos de banhistas na praia ( $m^2$ /banhista).

Depois de obtido o número de pessoas presentes em cada região de adensamento ao longo de toda a extensão da praia, esses valores foram então somados, representando, assim, o número total de pessoas presentes na praia durante o horário de pico populacional. A estimativa do fluxo total de pessoas durante o verão foi obtida multiplicando a média diária do número de pessoas presentes na praia durante o período de pico versus o número total de dias no verão, e somado posteriormente a um incremento de 37,5% (Figura 53). Esta porcentagem refere-se à média de incrementos percentuais populacionais ao longo do dia sobre o número de pessoas presentes na praia durante o horário de pico, valor este que varia de acordo com o número de pessoas que chegam versus o número de pessoas que saem da praia até o fim do dia (Polette & Raucci, 2000).

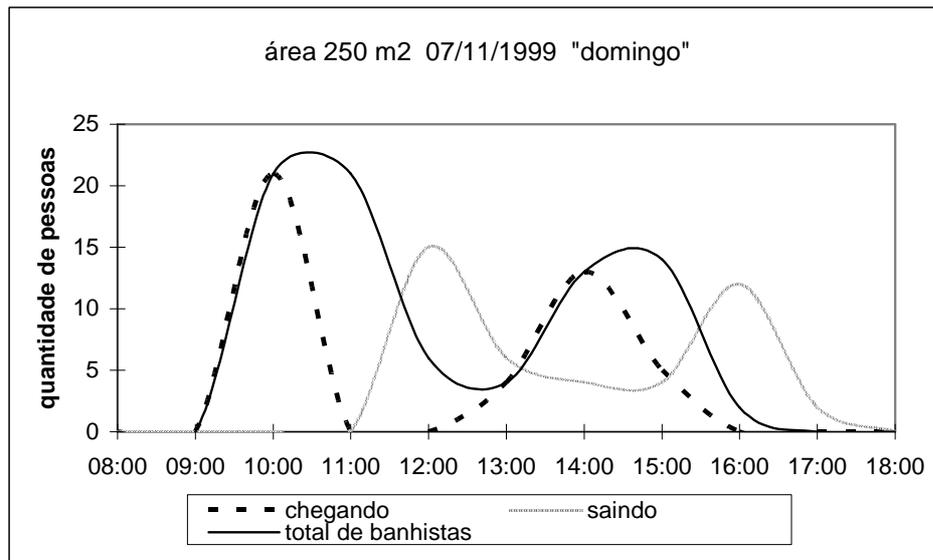


Figura 53 - Variação do fluxo de pessoas na praia de Balneário Camboriú com incremento percentual populacional de aproximadamente 56% ao fim do dia (Polette & Raucci, 2000).

### 6.2.2 Amostragem Sedimentar das Pessoas, Objetos, e Trajes de Banho

Este procedimento de medidas foi desenvolvido diretamente na praia. Primeiro, foram distribuídos às pessoas que se encontravam na praia folhetos contendo informações sobre os objetivos deste trabalho.

O número amostral foi de 100 pessoas, 50 de cada sexo, onde a amostragem do sedimento aderido à superfície corpórea das pessoas e objetos foi realizada com o auxílio de uma escova com cerdas plásticas e uma bacia metálica de 70 cm de diâmetro. Todo o sedimento removido foi armazenado em sacos plásticos individuais (Figura 54). Para a amostragem dos sedimentos aderidos a trajes de banho foram selecionadas 20 pessoas, 10 de cada sexo, as quais foram instruídas para a própria coleta de sedimentos no momento da troca de roupas, ao se despirem.



Figura 54 - Amostragem de sedimentos aderidos à superfície corpórea e objetos.

### 6.2.3 Pesagem das Amostras

Em laboratório, as amostras coletadas foram lavadas separadamente com água destilada para retirada dos sais solúveis, secas em estufa para a retirada da umidade, e pesadas em uma balança analítica de precisão.

### 6.2.4 Análise Granulométrica

As amostras depois de pesadas foram agrupadas e quarteadas (30g a 40g) para determinação das diferentes frações granulométricas. Posteriormente, foram peneiradas em intervalos de  $\frac{1}{2}$  fi, com agitação mecânica de 10 minutos. A partir dos resultados de frequência de ocorrência por intervalo de classe foi calculada a fração granulométrica média (Mz) de cada praia (Folk & Ward, 1957).

### 6.2.5 Cálculo da Área Superficial Corpórea das Pessoas

O volume corpóreo foi obtido através da equação 32, proposta por Mosteller (1987).

$$BSA = [Ht * Wt / 3600 ]^{1/2} \quad (32)$$

onde, BSA (Body Surface Area) representa em m<sup>2</sup>, a área superficial corpórea do indivíduo; H<sub>t</sub> representa a altura em cm; e W<sub>t</sub> o peso em kg. Os dados de peso e altura das pessoas foram coletados em campo através de uma balança e fita métrica.

### 6.2.6 Cálculo da Massa Sedimentar Retirada Aderida à Superfície Corpórea das Pessoas, Objetos, e Trajes de Banho.

Os valores foram obtidos através da multiplicação da massa média sedimentar retirada por pessoa, objetos e trajes de banho, versus o valor do fluxo total de pessoas durante o verão.

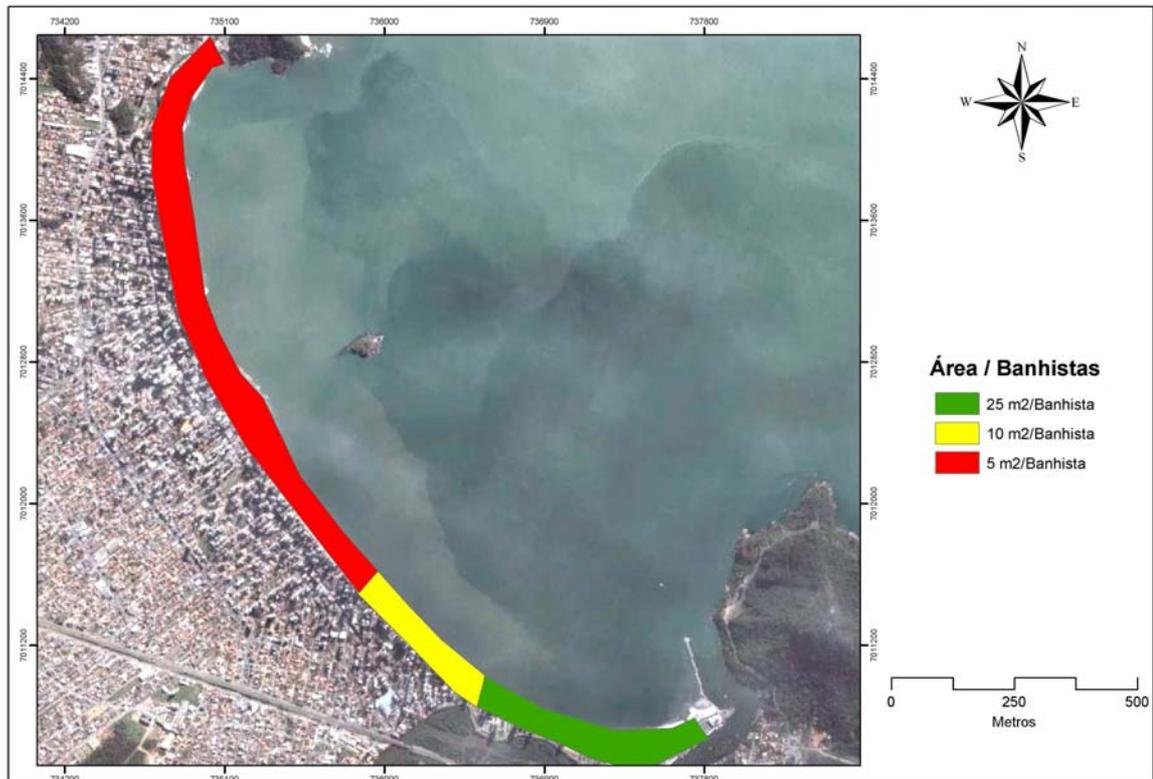
### 6.2.7 Cálculo do Volume Total de Sedimento Retirado das Praias

Este valor foi obtido através do somatório das massas totais sedimentares retiradas (superfície corpórea, objetos, e trajes de banho) durante o verão, sendo então dividido pela densidade do material sedimentar.

### 6.3 Resultados e Discussão

Este capítulo apresenta os resultados destas medidas de perda de sedimentos pelo trânsito das pessoas e a importância deste tipo de transporte de sedimentos para fora da praia.

As regiões de adensamento populacional na praia de Balneário Camboriú podem ser descritas como mostra a Figura 55.



*Figura 55* - Praia central de Balneário Camboriú e suas regiões de adensamento populacional.

A Tabela 9 apresenta os valores de porcentagem, gramas por pessoa e peso total de sedimentos retirados pelos banhistas da praia de Balneário Camboriú.

Tabela 9. Valores de porcentagem, gramas por pessoa e peso total de sedimentos retirados pelos banhistas da praia de Balneário Camboriú.

Item	%	g/pessoa	Peso Total (ton)
Cadeiras	9.4	2.0	12.1
Calçados	15.5	3.2	19.9
Toalhas	2.4	0.5	3.0
Brinquedos	4.7	1.0	6.0
Guarda-sóis	3.3	0.7	4.2
Artigos Esportivos	2.8	0.6	3.6
Bolsas	2.4	0.5	3.0
Trajes de Banho	6.6	1.4	8.5
Superfície Corpórea	53.0	11.1	68.2

O tamanho de grão médio retirado pelas pessoas foi de 2,90  $\phi$ , ou equivalente a areia fina. A superfície corpórea das pessoas foi responsável pela retirada de 53% (68,15ton.; 10,69g/pessoa) do volume total de sedimento retirado na praia de Balneário Camboriú. A Figura 56 ilustra a relação entre a quantidade de sedimento retirado em função da área superficial corpórea das pessoas. Não houve uma relação entre a superfície corpórea da pessoa e o volume de sedimentos retirado da praia pela mesma.

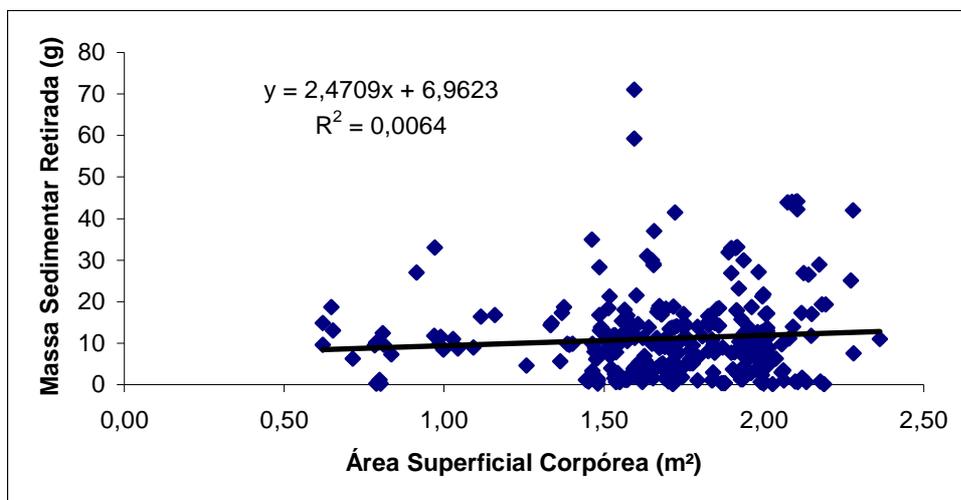


Figura 56 - Relação entre a quantidade de sedimento retirado em função da área superficial corpórea das pessoas.

A influência dos objetos e trajes de banho na retirada de areia na praia de Balneário Camboriú representou 47% (60,43ton.; 9,84g/pessoa) de seu volume total. Os principais responsáveis no processo de retirada de areia em cada praia foram respectivamente os trajes de banho, calçados e cadeiras (Figura 57).

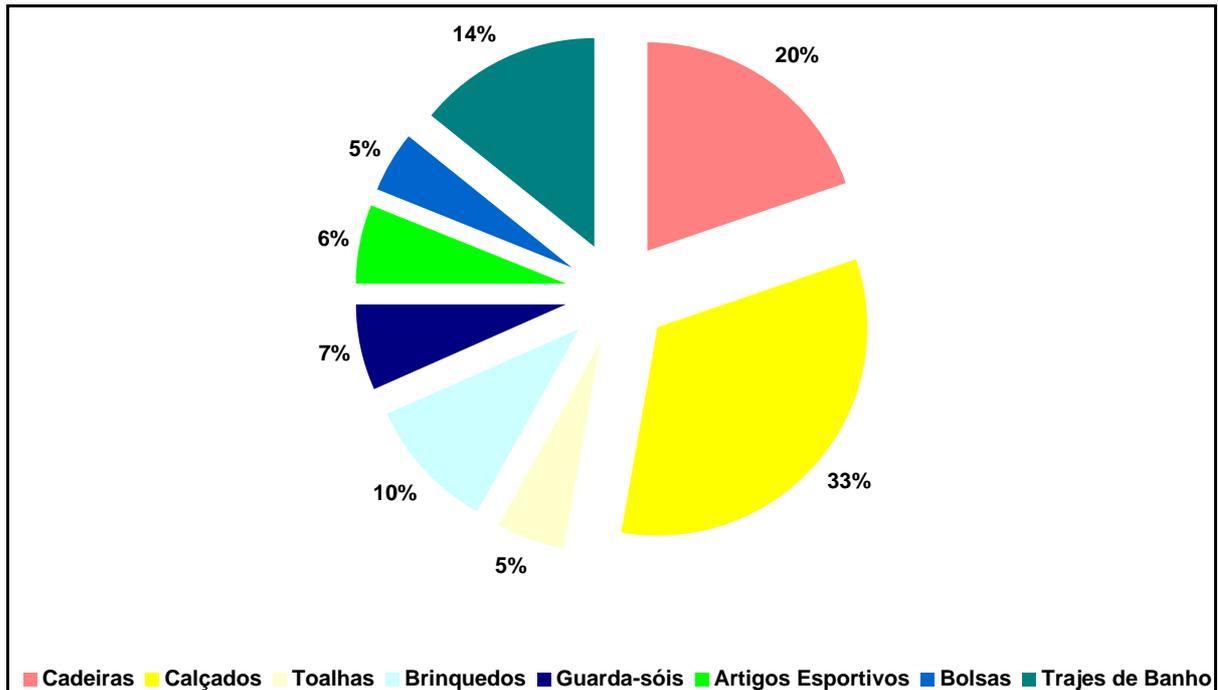


Figura 57 - Massa média e representatividade percentual da quantidade de areia retirada, por cada objeto, na praia de Balneário Camboriú.

O fluxo total de pessoas na praia central de Balneário Camboriú, durante o verão 2003/2004, foi estimado em 6.419.404 pessoas o que levou a retirada de um volume de 48 m<sup>3</sup>, representando uma massa de 128,59ton. (20 g/pessoa).

Admitiu-se, que o volume sedimentar retirado pelas pessoas não tenha causado grande impacto no balanço sedimentar costeiro durante o período amostral (verão 2003/2004). Um dos motivos pode estar relacionado a um evento sazonal, ou seja, ocorre somente em um período do ano. Por outro lado, sugere-se que em longo prazo em Balneário Camboriú, esta retirada de areia possa representar um déficit mais significativo no balanço sedimentar costeiro, já que esta praia apresenta grande fluxo populacional onde em vinte anos o volume de sedimento retirado seria de 970 m<sup>3</sup>.

Porém, a análise do quanto que isso representaria na variação da linha de costa da praia de Balneário Camboriú, considerando uma orla de 6 000 m, altura do berma de 1,5 m e profundidade de fechamento do perfil praiar de - 4 m, teríamos para uma estimativa de 20 anos apenas a variação de 17 cm de retração na linha de costa, não sendo representativo no tempo recorrido (Tabela 10).

Tabela 10. Valores de volume de sedimentos e variação da linha de costa causada pela retirada dos sedimentos pelos banhistas em uma previsão para 50 anos.

	Tempo				
	5 anos	10 anos	15 anos	20 anos	50 anos
Volume m <sup>3</sup> /m	0.242	0,484	0,726	0,968	2,422
Volume m <sup>3</sup> /m	1.453	2.906	4.360	5.813	14.532
Linha de costa (m)	0,044	0,088	0,132	0,176	0,440

#### 6.4 Conclusões

Os resultados demonstram que a maior parte do sedimento retirado da praia pelas pessoas ocorre aderida à superfície corpórea podendo ser responsável por até 53% do volume total. Contudo, os resultados indicaram não haver uma relação direta entre a quantidade de areia retirada e a área superficial corpórea das pessoas (Figura 56).

Os objetos e trajes de banho podem ser responsáveis pela retirada de até 47% da quantidade total de sedimento retirado das praias, podendo assumir, portanto, grande importância. Entre estes, os trajes de banho, os calçados e as cadeiras foram os principais responsáveis pela retirada de sedimento. Porém, assume-se que os brinquedos teriam grande influência neste processo, caso fossem levados por um número maior de pessoas, já que em média retiram quantidades significativas de sedimento.

Acredita-se que a maior parte do volume sedimentar retirado das praias pelas pessoas acabe não retornando às praias tendo como principal destino a rede de esgoto, contribuindo no seu assoreamento.

A retirada de sedimentos pelos banhistas, para uma estimativa de 20 anos, representará somente uma retração de 17 cm na linha de costa, não sendo representativo ao longo do tempo recorrido.

## Capítulo 7 – Balanço Sedimentar

### 7.1 Introdução

O balanço de sedimentos nada mais é do que a aplicação do princípio de continuidade e conservação de massa para os sedimentos litorâneos. A taxa de troca de sedimentos e o sistema são dependentes, ou seja, a taxa de areia que entra no sistema e a taxa que sai dele. O balanço sedimentar envolve as contribuições sedimentares e as perdas de um compartimento litorâneo (Bowen & Inman, 1966).

Este capítulo tem por objetivo apresentar os resultados do estudo do balanço sedimentar arenoso para a enseada de Balneário Camboriú. Será feita uma compilação das conclusões dos capítulos anteriores e apresentado um modelo de balanço sedimentar, mostrando os principais parâmetros de controle de entrada e saída de sedimentos, e a situação de equilíbrio do estoque de sedimentos na referida enseada.

### 7.2 Materiais e Métodos

O modelo utilizado para realizar os cálculos de balanço sedimentar, a partir das variáveis controladoras das fontes e perdas de sedimentos, entre os compartimentos costeiros da enseada de Balneário Camboriú, foi o Sistema de Análise do Balanço Sedimentar (SBAS) desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos (Rosati & Kraus, 2001). Neste estudo foi aplicada a versão do modelo SBAS-A como ferramenta para o pacote de software ArcGIS 8.3.

Foram adotados dezenove compartimentos costeiros que serão chamados de *Células*, conforme descrições apresentadas no Capítulo 1. A praia foi dividida em 15 células, cada uma com 400m de extensão no sentido longitudinal à praia até o limite entre a praia e a antepraia, junto a isóbata de 4m. A antepraia foi considerada outra célula, que se desenvolve por toda a enseada até a profundidade de 12 m. As áreas frontais as desembocaduras do rio Camboriú e do canal do Marambaia nos extremos sul e norte da praia, respectivamente, representam outras duas células. Para fins deste modelo conceitual de balanço sedimentar a área do continente a oeste, adjacente a praia, foi considerada também como uma célula (Figura 12, Cap. 1).

O cálculo do balanço de sedimentos para a praia de Balneário Camboriú foi realizado tomando como referência as variações de volumes de sedimentos do perfil praiial entre os anos de 1994 e 2005. As variações de volume para cada perfil, localizado na porção central de cada

célula costeira, foram extrapoladas para toda a célula. Posteriormente, os valores obtidos foram divididos pelo intervalo de tempo entre os levantamentos, ou seja, 12 anos para obtenção da variação de volume anual.

### **7.3 Resultados e Discussão**

Os resultados do cálculo do balanço de sedimentos arenosos para a enseada de Balneário Camboriú serão apresentados e discutidos a partir da possibilidade de fluxos de sedimentos entre os compartimentos costeiros (células), sendo que os mesmos serão apresentados na seguinte ordem: Rio Camboriú e antepraia, Canal do Marambaia e Antepraia, praia e antepraia e praia e continente.

#### **7.3.1 Rio Camboriú e Antepraia**

A troca de sedimentos entre o rio Camboriú e a antepraia dá-se apenas no sentido rio Camboriú para a antepraia, ou seja, para jusante. Para montante da desembocadura não se observa atualmente no leito do rio a presença de feições deposicionais de depósitos do tipo delta de maré enchente. Deste modo, o rio é exportador de sedimentos e representa portanto uma fonte de sedimentos para a enseada. Entretanto, trata-se de uma carga de sedimentos finos, com uma contribuição anual de 6.900 kg e 32400 kg transportados durante os períodos de maré de quadratura e sizígia, respectivamente (Siegle, 1999).

O mesmo autor mostrou que o rio Camboriú não contribui com sedimentos arenosos para a praia de Balneário Camboriú. A ocorrência de uma fácies sedimentar de areia fina no fundo da enseada, em frente à desembocadura do Rio Camboriú, não se correlaciona com os sedimentos e com a energia atual. Esta fácies arenosa provavelmente ali se depositou em condição de nível de mar abaixo do atual, sendo considerados atualmente como sedimentos relíquias em equilíbrio hidrodinâmico de acordo com as condições atuais como conceituado por Mcmanus (1975). Isto corrobora com a afirmação de Siegle (1999), que o rio Camboriú não exporta sedimentos arenosos.

Antes da construção do molhe na desembocadura do rio Camboriú, no ano de 2004, muito material arenoso da praia era transportado pela corrente litorânea para dentro do rio Camboriú, porém após a construção do mesmo este fluxo foi interrompido não havendo mais perda de sedimentos arenosos da praia neste sentido.

Os sedimentos finos que chegam à antepraia são rapidamente transportados e dispersados pelas correntes litorâneas como material particulado em suspensão, não permitindo o retorno destes tamanhos de sedimentos para o interior do rio, favorecido também pela presença do molhe neste local, com isso podemos concluir que o fluxo de sedimentos, seja como ganho ou perda, entre o rio e a antepraia é nulo.

### 7.3.2 Canal do Marambaia e Antepraia

O canal do Marambaia é um pequeno canal localizado no extremo norte da praia de Balneário Camboriú, a qual foi uma desembocadura de lagunas costeiras que existiam em Balneário na década de 70 (Figura 58).



*Figura 58* - Fotografia da década de 70, mostrando as lagunas costeiras e sua desembocadura, atual canal do Marambaia (arquivo LPPC - UNIVALI).

Com o crescimento imobiliário, após a década de 80, as lagunas costeiras e o canal de ligação com o mar, canal do Marambaia, foi totalmente canalizado e atualmente serve somente para escoamento das águas pluviais. Por se tratar de um canal sem associação a uma bacia de drenagem litorânea, o mesmo não contribui com escoamento de sedimentos costeiros para a antepraia. Também, a presença de um guia corrente na desembocadura do canal do

Marambaia, impede a entrada de sedimentos arenosos da praia para o canal, podendo ser considerada nula a troca de sedimentos entre a praia e o Canal do Marambaia.

### **7.3.3 Praia e Antepraia**

A partir das análises de sedimentologia do fundo da enseada de Balneário Camboriú e do transporte de sedimentos por ondas e correntes se verificou a ausência de troca de sedimentos arenosos entre as 15 células praias e a antepraia. Deste modo, a praia pode ser tratada como um compartimento fechado, tanto para perdas, como para ganhos de areia com a antepraia. Entretanto, a troca de volumes de sedimentos ocorre somente entre os perfis praias, o que mantém seu estoque de sedimentos, no que se pode chamar de processo de rotação praial.

O fato do sedimento praial não possuir tamanhos de grãos finos (silte e argila) e os sedimentos arenosos da praia não serem transportados além da profundidade de fechamento, pode-se considerar nula a troca de sedimentos entre a praia e a antepraia.

O cálculo das variáveis morfológicas de cada célula demonstrou que o volume e a largura dos perfis praias permaneceram estáveis entre os anos de 1994 e 2005, sendo que a praia sofre processos erosivos durante eventos de maior energia, porém tem seu pacote de sedimentos recomposto após a passagem dos mesmos.

### **7.3.4 Praia e Continente**

A troca de sedimentos entre praia e continente se dá por alguns fatores distintos daqueles examinados anteriormente. Entre eles podemos citar o vento, sobre lavagem de sedimentos para avenida beira-mar por ondas de tempestade em eventos esporádicos e o transporte de sedimentos pelos banhistas, conforme foi apresentado no capítulo 6. Destes fatores o único que se possibilitou mensurar neste trabalho foi o último, uma vez que o transporte eólico foi totalmente segmentado pela impermeabilização da planície arenosa, como consequência do processo de urbanização.

A perda de sedimentos da praia, transportada pelos banhistas, é de aproximadamente de 48 m<sup>3</sup> por temporada de verão, entre os meses de janeiro e fevereiro, ou 288m<sup>3</sup>, caso seja considerado o volume retirado da praia no ano todo, por banhistas, esportistas e turistas.

A variabilidade deste troca se demonstrou pouco representativa na variação da posição da linha de costa, onde em 20 anos a praia apresentará uma retração de apenas 17 centímetros.

#### 7.4 Conclusões

A praia de Balneário Camboriú comporta-se como um sistema fechado não havendo trocas de sedimentos consideráveis entre ela e os compartimentos costeiros adjacentes, como antepraia, rio Camboriú, canal do Marambaia e Continente.

A Tabela 11 e a Figura 59 apresentam um resumo dos valores de perdas e ganhos de sedimentos dentro da enseada de Balneário Camboriú representando o seu balanço sedimentar.

Os valores de balanço sedimentar positivo ocorridos nos perfis de 11 a 15 foram excluídos do cálculo do balanço sedimentar, por terem sido adicionados artificialmente pela alimentação da praia. Pelo cálculo dos sedimentos que permaneceram na praia após a alimentação o volume foi estimado em 49.030m<sup>3</sup>. Os valores de balanço negativo retirados pelos banhistas da praia também não foi incluído no cálculo, por este já estar embutido no cálculo dos volumes dos perfis.

Tabela 11. Valores de balanço de sedimentos arenosos, positivos (verde) e negativos (vermelho) entre os compartimentos costeiros na enseada de Balneário Camboriú por (m<sup>3</sup>/ano).

Compartimentos	Perda	Ganho	Balanço de Sedimentos
<b>Praia</b>	-	-	-
01	653	-	653
02	-	160	160
03	86	-	86
04	246	-	246
05	-	160	160
06	-	113	113
07	150	-	150
08	-	320	320
09	16	-	16
10	-	246	246
11	-	326	-
12	-	790	-
13	-	643	-
14	-	326	-
15	-	2000	-
Antepraia → Praia	0	0	-
Praia → Antepraia	0	0	-
Rio Camboriú → Antepraia	0	0	-
Canal do Marambaia → Antepraia	0	0	-
Praia → Continente	288	-	-
Continente → Praia	0	0	-
<b>Balanço de Sedimentos</b>	<b>1151</b>	<b>999</b>	<b>152</b>

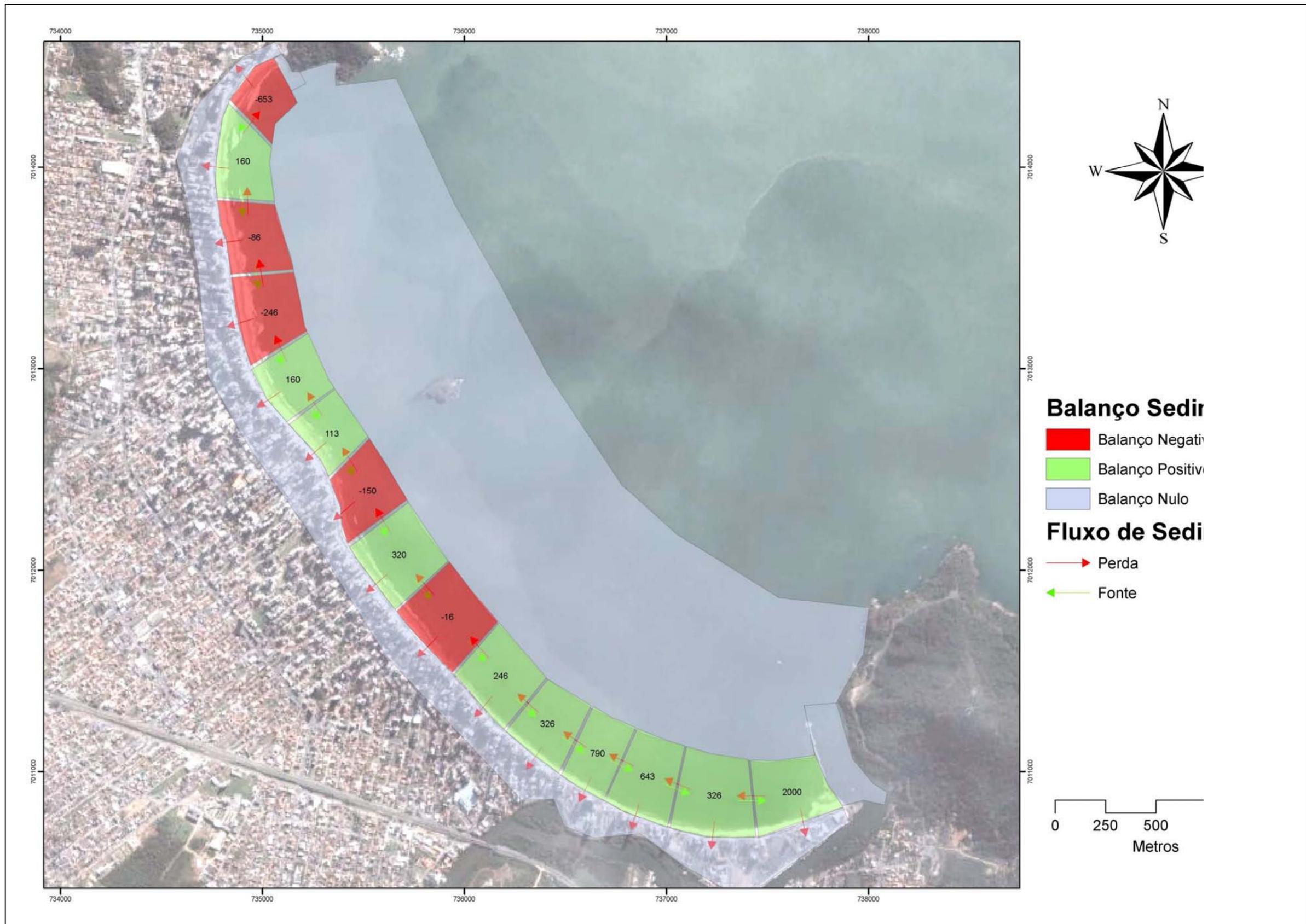


Figura 59 - Balço sedimentar para a enseada de Balneário Camboriú.

O cálculo do balanço de sedimentos arenosos para a praia e enseada de Balneário Camboriú apresentou um valor negativo de  $152\text{m}^3/\text{ano}$ . Este valor pode ser considerado mínimo quando comparado ao volume total de sedimentos da praia. O valor estimado é metade do valor calculado para a perda de sedimentos retirados pelos banhistas da praia anualmente.

Com isso pode-se concluir que a enseada de Balneário Camboriú está totalmente equilibrada quanto ao balanço sedimentar, sendo que não há perdas e ganhos de sedimentos consideráveis.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o balanço de sedimentos arenosos na enseada de Balneário Camboriú, SC. Para alcançar este objetivo foram investigados diversos parâmetros, dentre os quais se podem destacar:

- Sedimentologia da praia e antepraia da enseada de Balneário Camboriú – SC;
- Padrão de evolução da linha de costa na praia de Balneário Camboriú;
- Modelos de perfil de equilíbrio para a enseada como Balneário Camboriú;
- Padrão de transporte de sedimentos na enseada de Balneário Camboriú;
- Importância do transporte de sedimento pelos banhistas para fora do sistema praias no balanço sedimentar da praia central de Balneário Camboriú.

A partir dos resultados obtidos a partir dos parâmetros estudados puderam-se obter as seguintes conclusões:

A praia de Balneário Camboriú é composta por sedimentos de tamanho de areia fina a muito fina, bem a moderadamente classificados, não apresentando modificação significativa para quase totalidade da praia.

A partir da análise das fácies sedimentares presentes na enseada de Balneário Camboriú pode-se afirmar que não há troca de sedimentos arenosos da praia com a região da antepraia, sendo esta, dentro da enseada, dominada principalmente por sedimentos finos (silte e argila).

A praia quanto à sua estabilidade em planta encontra-se em equilíbrio dinâmico, a linha de costa prevista está situada em direção ao continente tanto na porção norte e sul da enseada. Sendo que a porção norte sofre processos erosivos episódicos, enquanto que a porção sul apresenta processos erosivos pela não contribuição de sedimentos arenosos através do rio Camboriú.

A morfologia praias apresentada em valores de variação de volume e largura praias demonstrou que os perfis localizados na porção mais exposta da praia (norte) apresentam maiores variações do que os demais perfis localizados nas porções mais protegidas.

Verifica-se um processo de rotação praiial entre os perfis da praia, havendo acresção em alguns enquanto ocorre erosão em outros, mostrando uma troca de sedimentos entre eles, porém, não sendo evidenciados ganhos ou perdas de sedimento no balanço sedimentar.

O volume de sedimentos ganho pela praia entre 1994 e 2005 foi de aproximadamente 49.000m<sup>3</sup> de sedimentos na praia, que foram adicionados artificialmente à praia por uma obra de alimentação executada pela prefeitura municipal.

A profundidade de fechamento diminuiu da porção norte da praia para a porção sul, corroborando com o fato da maior energia de ondas na porção norte contribuir para o transporte maior de sedimentos para regiões mais profundas do perfil.

A profundidade de fechamento do perfil praiial mostrou que não há troca de sedimentos da praia com a região com profundidade superior a 4m e 1,7m nas regiões norte e sul da antepraia respectivamente, como demonstrado no estudo da sedimentologia da enseada, comprovando a estabilidade dos sedimentos praiiais.

Os cenários de refração, difração de ondas e transporte de sedimentos demonstrou que a praia se comporta como uma célula fechada, não havendo troca entre esta e a região de antepraia. Portanto, gerando um balanço arenoso nulo entre estes dois ambientes.

Admiti-se, que o volume sedimentar retirado pelas pessoas não cause grande impacto no balanço sedimentar costeiro durante o período amostral (verão 2003/2004). Um dos motivos pode estar relacionado a um evento sazonal, ou seja, ocorre somente em um período do ano. Por outro lado, sugere-se que em longo prazo, esta retirada de areia possa representar um déficit mais significativo no balanço sedimentar costeiro, já que a praia recebe um grande fluxo populacional onde em vinte anos o volume de sedimentos retirados seria de 970m<sup>3</sup>.

Para o cálculo do balanço de sedimentos para a enseada de Balneário Camboriú foi aplicado o modelo de Rosati & Kraus (1999). A enseada de Balneário Camboriú foi dividida em 19 células (compartimentos costeiros), sendo 15 células praiiais com 400 metros de extensão cada, a antepraia, o Rio Camboriú, o Canal do Marambaia e a última célula representando o continente. O modelo foi alimentado com os valores de entradas e saídas de sedimentos arenosos para cada célula, sendo calculado o balanço sedimentar arenoso para a enseada de Balneário Camboriú entre os anos de 1994 e 2005.

As variáveis utilizadas pelo modelo para realizar o cálculo do balanço sedimentar demonstraram-se apropriadas para o mesmo, sendo que não houve superestimação ou

subestimação nas células utilizadas e considera-se o modelo apropriado para a sua aplicação em praias de enseada.

O cálculo do balanço de sedimentos arenosos para a praia e enseada de Balneário Camboriú apresentou um valor negativo de  $152\text{m}^3/\text{ano}$ . Este valor pode ser considerado mínimo quando comparado ao volume total de sedimentos da praia. O valor estimado é metade do valor calculado para a perda de sedimentos retirados pelos banhistas da praia anualmente.

Com isso pode-se concluir que a enseada de Balneário Camboriú está em equilíbrio quanto ao balanço sedimentar, sendo que não há perdas e ganhos consideráveis de sedimentos arenosos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. G. N. 1998. **Contribuição à Sedimentologia da Plataforma Continental Interna de Santa Catarina entre a Foz dos Rios Tijucas e Itapocu**. Dissertação (Mestrado em Geologia Marinha) – Instituto de Geociências – Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense.

ABREU, J. G. N.; PEZZUTO, P. R.; RESGALLA JR., C.; MENEZES, J. T. & VINTEM, G. 2003. **Impacto ambiental e modificações texturais dos sedimentos provocadas pela alimentação artificial da praia de Balneário Camboriú (SC)**. IX Congresso Brasileiro da Associação Brasileira do Quaternário, ABEQUA, Recife, PE. p. 199.

ARAUJO, C. E. S., FRANCO, D., MELO, E, & PIMENTA, F. 2003. **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.

BAPTISTA NETO, J. A. et. al. 2004. **Métodos diretos e indiretos de investigação do fundo oceânico**. In.: Baptista Neto, J. A., Ponzi, V.R. A., Sichel, S. E. Introdução à geologia marinha. Ed. Interciência, Rio de Janeiro. 279 p.

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

BEAVERS, R. L., 1999. **Storm sedimentation on the surf zone and inner continental shelf, Duck, North Carolina**. Tese de doutorado. Duke University. 115p.

BENEDET FILHO, L. 2000. **Morfodinâmica de praias de enseadas: um estudo do comportamento dos processos de rotação praial**. Universidade do Vale do Itajaí. Monografia de Conclusão do Curso de Oceanografia.

BENEDET FILHO, L., KLEIN, A. H. F., SCHUMACHER, D. H. & MENEZES, J. T. 2000. **Beach rotation process in distinct morphodynamic beach types: a preliminary analysis**. In Klein et al (2000) (Eds), *Anais do Simpósio Brasileiro Sobre Praias Arenosas: morfodinâmica, ecologia, usos, risco e gestão*. Ed. UNIVALI, Itajaí. 178-179. p.

BERENGUER, J. M. & ENRÍQUEZ, J. 1992. **Design of pocket beaches**. Proc. 21st Coastal Engineering Conference, ASCE, p.1411-1425.

- BIRD, E. C. F. & SHWARTZ, M. L. 1985. **The world's coastline**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1171p.
- BORGES, A. C. 1977. **Topografia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda.
- BOWEN A. J. & INMAN D. L. 1966. **Budget of littoral sands in the vicinity of Point Arguello, California**. U.S. Army Coastal Engineering Research Center Tech. Memo., 19, 56 p.
- BRUUN, P. 1954. **Coast erosion and development of beach profiles**. Waterways Experiment Station, Army Corps of Engineers, **Beach Erosion Tech. Memo**, n. 44, 82p.
- BRUUN, P. 1962. **Sea-level rise as a cause of shore erosion**, Journal Waterways and Harbours Division, vol. 88(1-3). p. 117-130.
- CARTER, R. W. G. 1988. **Coastal environments**: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. London: Academic Press, 617p.
- CARUSO Jr., F. & ARAUJO, S. A. 2000. **Ambientes de sedimentação costeira da região centro norte de Santa Catarina e seu relacionamento com a geologia regional**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS, 2000, Itajaí. **Anais...** Itajaí: Editora da UNIVALI. p. 202 - 203.
- CARUSO Jr., F.; KREBS, A. J.; WILDNER, W.; ARAUJO, S. A.; DIEHL, F. L.; FRASSON, H. CARMO V. B. 2000. **Mapa Geológico da Folha Camboriú, escala 1:50.000**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS, 2000, Itajaí. **Anais...** Itajaí: Editora da UNIVALI.
- COWELL, P. J.; ROY, P. S. & JONES, R. A. 1995. **Simulation of large-scale coastal change using a morphological behavior model**, Mar. Geol., 126 (1-4): 45-61.
- DEAN, R. G. 1977. **Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coast**. Ocean Engineering Technical Report, n. 12, 45p.
- DEAN, R. G & DALRYMPLE, R.A. 1991. **Water waves mechanics for engineer and scientists**. New York: Prentice Hall, 2º ed., 353p.

DEAN, R. G; HEALY, T.R. & DOMMERHOLT, A.P. 1993. A **“blind-folded” test of equilibrium beach profile concepts with New Zealand data**. Marine Geology, v. 109, p. 253 – 266.

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

DUBOIS, R. N. 1995. **The transgressive barrier model: an alternate to two-dimensional volume balanced models**. Journal Coastal Research. 11 (4), 1272– 1286.

FOLK, R. & WARD, W. 1957. **Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters**. Journal of sedimentary petrology. 27: 3-26p.

GIOC, 2003. **2DH-Morphodynamic Evolution Model for Near Shore Areas (MOPLA)**. State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria, 262 (in Spanish).

GIOC, 2003a. **Reference Document, vol. I: Coastal Hydrodynamics**. State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria, 512 (in Spanish).

GIOC, 2003b. **Reference Document, vol. II: Coastal Littoral Processes**. State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and University of Cantabria, 397 (in Spanish).

GONZALES, M., MEDINA, R., GONZALES-ONDINA, J., OSÓRIO, A., MÉNDEZ, F., GRACÍA, E. 2007. **An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, SMC**. Computers & Geosciences 33(7): 916-931.

GRÉ, J. C. R. 1983. **Aspectos sedimentares da plataforma continental de Santa Catarina**. Porto Alegre, 91f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GRUBER, N. L. S. 2002. **A antepraia na região de Tramandaí - RS**. Tese de doutorado. UFRGS. 207p.

HALLERMEIER, R. J. 1981. **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.

HOEFEL, F. G. 1998 **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas. Uma revisão bibliográfica.** Ed. Univali, 79p.

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.

INPH (Instituto de Pesquisas Hidroviárias). 2000. **Estudos para o engordamento da praia de Balneário Camboriú - SC.** Rio de Janeiro: Divisão de Engenharia Hidráulica – DIENGH. 55p. Relatório Técnico.

JIMÉNEZ, J. A. 1995. **Evolución en planta/perfil de una playa. Metodos predictivos. Ingeniería del Agua,** v.2, número extraordinário, p.119-132.

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

KIRBY, J. T. & H. T. ZKAN, 1994. **Combined refraction/diffraction model for spectral wave conditions, REF/DIF S. v. 1.1,** no. CACR-94-04, Center for Applied Coastal Research, Newark, DE.

KIRBY, J. T., & DALRYMPLE, R. A. 1992. **Combined Refraction/Diffraction Model REF/DIF 1, Version 2.4.; Documentation and User's Manual,** Research Report CACR-92-04, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware.

KLEIN, A. H. F. & MENEZES, J. T., 2001. **Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast.** Journal of Coastal Research, 17 (4), 812-835.

KLEIN, A. H. F.; BENEDET FILHO, L. & SCHUMACHER, D. H. 2002 **Short-term beach rotation process in distinct headland bay beach systems.** Journal of Coastal Research, 18 (3). 442-458.

KLEIN, A. H. F. 2004 **Morphodynamics of headland-bay beaches: examples from the coast of Santa Catarina State, Brazil.** Tese de doutorado em ciências do mar. Universidade do Algarve, Portugal.

KOMAR, D. P. 1976 **Beach processes and sedimentation: the lasted scientific research in the study of physical processes of beaches and resulting sedimentary deposits.** New Jersey : Prentice Hall Ed.

KRUMBEIN, W. C. 1944 **Shore Processes and Beach Characteristics**, Technical Memorandum No. 3, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers. 47 pp.

KURIYAMA, Y. 2003 **Sediment budget analysis with aerial photographs**, Proc. Coastal Sediments '03, CD-ROM Published by World Scientific Publishing Corp. and East Meets West Productions.

LARSON, M.; KRAUS, N. C.; WISE, R. A. 1999. **Equilibrium beach profiles under breaking and non-breaking waves**. Coastal Engineering. USA, v. 36, p. 59-85.

LIMA, M. G. P. 2004. **Fundos artificiais para o surfe: projeto para o aumento da surfabilidade do Parcel de Balneário Camboriú - SC**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) - Universidade do Vale do Itajaí, SC.

MCMANUS, D.A. 1975. - **Modern versus Relict sediments on continental shelf**. Geological Society of America Bulletin, 86:1154-1160.

MENEZES, J. T. 1999. **Aspectos morfodinâmicos das praias do litoral centro-norte catarinense**. Universidade do Vale do Itajaí. Monografia de Conclusão do Curso de Oceanografia. 163 p.

MENEZES, J. T. & KLEIN, A. H. F. 1997. **Variações morfológicas das praias do litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina: resultados preliminares**. Anais, X Semana Nacional de Oceanografia. Itajaí.

MIOT DA SILVA, G. 2003. **Efeito do estado de equilíbrio em planta na sedimentologia de praias desenvolvidas entre promontórios**. Dissertação de Mestrado em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, RS.

MIOT da SILVA, G.; KLEIN, A. H. F. & ALMEIDA, L. E. S. B., 2006. **Effect of Planform Equilibrium State in the Sedimentology of Headland Bay Beaches**. Journal of Coastal Research, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 692-696. Itajaí, SC, Brasil, ISSN 0749-0208.

MORENO, L. J. & KRAUS, N. C. 1999. **Equilibrium Shape of Headland-Bay Beaches for Engineering Design**, Proceedings of Coastal Sediments'99, ASCE, 1. 860-875.

- MOORE, B. D. 1982. **Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height**. Delaware. 164f. MSc Thesis, Department of Civil Engineering - University of Delaware.
- MOSTELLER, R. D. 1987. **Simplified Calculation of Body Surface Area**. New England Medicine Journal.
- MÜEHE, D. 1988. **O litoral brasileiro e sua compartimentação**. In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J. (Ed.). Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil S.A. p. 273 – 349.
- NICHOLS, R. J., BIRKEMEIER, W. A. & LEE, G. 1998. Evaluation of depth closure using data from Duck, NC, USA. *International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics*. 148:179-201.
- NIMER, E. 1989. **Climatologia do Brasil**. São Paulo- SP. IBGE. 195-314p.
- NIEDORODA, A. W.; SWIFT, D. J. P. & HOPKINS, T. S. The shoreface. 1985. *In* DAVIS, R.A. **Coastal Sedimentology Environments**. New York: Springer Verlag. p.532-624.
- NOBRE, C. A.; CAVALCANTI, M. A. G.; NOBRE, P.; KAYANO, M. T.; RAO, V. B.; BONATTI, J. P.; SATYAMURTI, P.; UVO, C. B. & COHEN, J. C. 1986. **Aspectos da climatologia dinâmica do Brasil**. *Climanálise*. Número especial.
- NORDSTROM, K.F. 1981. **Differences in grain size distributions with shoreline positions in a spit environment**. *Northeast. Geol.*, 3, 252-258.
- OZASA, H. & BRAMPTON, A. H. 1980. **Mathematical modelling of beaches backed by seawalls**. *Coastal Engineering*. v.4, n.1, p.47-64.
- PEJRUP, M., 1988. **The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach**. In: de Boer, P.L., van Gelder, A., Nio, S.D. (Eds.), *Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies*. Reidel, Dordrecht, pp. 289-300.
- PETERMANN, R. M. 2005. **Zoneamento Ambiental do Município de Balneário Camboriú (SC) Utilizando Produtos de Sensoriamento Remoto e Dados Cartográficos Integrados no Sistema de Informações Geográficas SPRING**. Itajaí – SC. Dissertação de Mestrado. *Ciência e Tecnologia Ambiental*. UNIVALI – Itajaí – SC. P. 114.

PEZZUTO, P. R., RESGALLA JR, C., ABREU, J. G. N., MENEZES, J. T. 2004. **Environmental impacts of the nourishment of Balneário Camboriú Beach, SC, Brazil.** Journal of Coastal Research, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), Itajaí, SC.

PILKEY, O. H.; YOUNG, R. S.; RIGGS, S. R.; SMITH, A. W. S.; WU, Huiyan & PILKEY, W. D., 1993. **The concept of shoreface profile of equilibrium: a critical review.** Journal of Coastal Research 9 (1), 255– 278.

POLETTE, M. & RAUCCI, G. 2000. **Proposta Para um Método De Capacidade De Suporte Para Uma Praia Arenosa: A Percepção Dos Usuários Da Praia Central De Balneário Camboriú – SC (BRASIL).** Journal of Coastal Resources.

RODRÍGUEZ, D. E. M. G. 1995 **Morfología de playas em equilibrio.** Tesis Doctoral – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, Santander, Espanha. 270f.

ROSATI, J. D. 2005 **Concepts in Sediment Budgets.** *Journal of Coastal Research*, Coastal Education and Research Foundation, Inc., Vol. 21, No. 2. pp 307-322.

ROSATI, J. D. & KRAUS, N. C. 1999 **Advances in coastal sediment budget methodology – with emphasis on inlets.** *Shore and Beach*, 67(2&3). p. 56-65.

ROSATI, J. D. & KRAUS, N. C. 2001. **Sediment budget analysis system (SBAS).** ERDC/CHL CHETN-XIV-3, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

SANTIAGO, R. de ; DAZZI, R. L. S. ; KLEIN, A. H. F. & MENEZES, J. T. 2003. **Sistema de gerenciamento de amostras sedimentológicas - SIGA 2.0.** In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Recife. Anais do IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2003.

SCHEIBE, L. F. 1986. **A geologia de Santa Catarina; sinopse provisória.** *Geosul*, v.1, n.1, p.7-38.

SCHETTINI, C. A. F., CARVALHO, J. L. B. & JABOR, P.. 1996. Comparative Hydrology and Suspended Matter Distribution of Four Estuaries in Santa Catarina State - Southern

Brazil. Proceedings of Workshop on Comparative Studies of Temperate Coast Estuaries, p. 29-32.

SHORT, A. D. 1999. **Beach and Shoreface Morphodynamics**. John Wiley and Sons, Chichester. 379 p.

SHORT, A. D. & MASSELINK, G. 1999. **Embayed and structurally controlled beaches**. In handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics, (ed. A.D. Short). p 230-249.

SIEGLE, E. 1999. Morfodinâmica da desembocadura do Rio Camboriú, Balneário Camboriú – SC. Dissertação de mestrado. Geociências. UFRGS.

SILVA, L. F. & SCHETTINI, C. A. F., 1997. Contribuição à hidrologia do estuário do rio Camboriú: avaliação da contribuição fluvial. Anais, X Semana Nacional de Oceanografia. Itajaí, SC. pp. 496-498.

SUGUIO, K. , 1973, **Introdução à sedimentologia**. Edgard Blucher, São Paulo, 317p.

TEMME, B. 1996. **Morphologic behaviour of the beach of Balneário Camboriú, SC, Brazil**. Stage Report , UNIVALI, Itajaí.

TEMME, B.; KLEIN, A. H. da F.; CARVALHO, J. L. B. & DIEHL, F. L. 1997. **Morphologic behaviour of the beach of Balneário Camboriú: preliminary results**. Notas Técnicas da Facimar, n. 1, p. 49 – 65.

TRUCCOLO, E. C. 1998. **Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul - SC**. Florianópolis, 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

USACE – UNITED STATES ARMY CORP OF ENGINEERS, COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. 1984. **Shore protection manual**. Vol. I e II, Ed. Fourth.

WRIGHT, L. D. & THOM, B. G. 1977 **Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach**. Progress in Physical Geography. P. 412-459.

WORK, P. A. & DEAN, R. G. 1991. **Effects of varying sediment size on equilibrium beach profiles**. Seattle, USA.

YASSO, W. E. 1965. **Plan geometry of headland-bay beaches.** *Journal of Geology*, 73: 702-714.

## **ANEXO 1**

Tabela 1: Descrição da localização e análise sedimentar do levantamento realizado no ano de 2002.

Levantamento Sedimentar 2002								
PTO	coordenadas UTM		% CASCALHO	% AREIA	% SILTE	% ARGILA	Diam (mm)	PHI
1	737747	7011065	2,89	93,70	3,40	0,00	0,2195	2,2
2	737769	7011591	2,00	87,07	10,93	0,00	0,1067	3,2
3	738105	7011956	1,24	94,84	3,93	0,00	0,1487	2,7
4	738463	7012236	0,12	98,49	1,39	0,00	0,1617	2,6
5	738355	7012596	0,03	98,01	1,96	0,00	0,1764	2,5
6	737862	7012296	0,00	80,00	13,63	6,38	0,1725	2,5
7	737491	7011982	0,12	91,54	8,35	0,00	0,1168	3,1
8	737097	7011687	0,09	77,99	21,92	0,00	0,0843	3,6
9	737262	7011347	0,15	85,52	9,81	4,53	0,0889	3,5
10	736978	7011018	0,32	89,95	9,74	0,00	0,0860	3,5
11	736588	7011235	0,06	76,20	17,15	6,60	0,0722	3,8
12	736244	7011469	0,04	83,95	10,95	5,06	0,0827	3,6
13	736465	7011663	0,00	90,17	9,83	0,00	0,0815	3,6
14	736846	7011969	0,00	69,83	27,54	2,64	0,0690	3,9
15	737235	7012267	0,13	91,97	7,90	0,00	0,1563	2,7
16	737664	7012576	0,00	95,60	4,40	0,00	0,1667	2,6
17	738023	7012916	0,16	95,22	4,62	0,00	0,2722	1,9
18	737775	7013205	0,00	20,86	9,49	69,66	0,0056	7,5
19	737366	7012924	0,00	41,80	2,02	56,19	0,0105	6,6
20	736976	7012623	0,00	91,97	6,16	11,87	0,1183	3,1
21	736574	7012316	0,02	79,03	17,90	3,06	0,0768	3,7
22	736175	7011966	0,09	89,97	9,94	0,00	0,0811	3,6
23	735866	7011793	0,09	75,77	19,90	4,24	0,0754	3,7
24	735690	7012091	0,13	79,39	13,59	6,90	0,0763	3,7
25	735936	7012318	0,00	72,85	22,79	4,37	0,0699	3,8
26	736386	7012564	0,00	90,18	9,83	0,00	0,1231	3,0
27	736764	7012939	0,01	22,92	17,27	59,80	0,0084	6,9
28	737125	7013228	0,00	6,45	8,57	84,99	0,0027	8,5
29	737507	7013610	0,00	4,13	10,02	85,84	0,0026	8,6
30	737320	7013877	0,00	3,19	5,33	91,48	0,0022	8,8
31	736878	7013545	0,00	1,47	1,09	97,44	0,0018	9,1
32	736534	7013194	0,00	9,85	20,80	69,35	0,0046	7,8
33	736130	7012893	0,00	72,00	22,95	5,05	0,0676	3,9
34	735662	7012594	0,88	89,02	10,11	0,00	0,0835	3,6
35	735400	7012583	0,37	98,93	0,70	0,00	0,1213	3,0
36	735232	7012795	0,05	97,68	2,27	0,00	0,1014	3,3
37	735486	7012911	0,03	90,72	9,25	0,00	0,0881	3,5
38	735888	7013222	0,00	83,83	12,98	3,20	0,0847	3,6
39	736276	7013513	0,01	80,77	14,85	4,37	0,0765	3,7
40	736658	7013875	0,00	3,96	8,57	87,47	0,0026	8,6
41	737059	7014144	0,00	0,88	3,75	95,37	0,0019	9,1
42	736810	7014500	0,00	10,46	20,10	69,44	0,0045	7,8
43	736380	7014176	0,00	1,50	14,88	83,63	0,0030	8,4
45	735604	7013539	0,04	82,26	11,24	6,46	0,0801	3,6
46	735168	7013235	0,00	84,67	12,17	3,16	0,0865	3,5
47	735068	7013203	0,24	97,60	2,17	0,00	0,1079	3,2
48	734984	7013557	0,18	98,90	0,92	0,00	0,1125	3,2
49	735401	7013867	0,00	12,94	20,77	66,29	0,0058	7,4
51	736187	7014483	0,00	0,88	13,23	85,90	0,0035	8,2
52	736546	7014770	0,00	4,85	12,11	83,05	0,0034	8,2

<b>Levantamento Sedimentar 2002 - continuação</b>								
<b>PTO</b>	<b>coordenadas UTM</b>		<b>% CASCALHO</b>	<b>% AREIA</b>	<b>% SILTE</b>	<b>% ARGILA</b>	<b>Diam (mm)</b>	<b>PHI</b>
53	736312	7015111	0,00	3,28	7,39	89,33	0,0024	8,7
54	735932	7014768	0,00	3,42	11,17	85,40	0,0033	8,2
55	735292	7014247	0,04	98,64	1,32	0,00	0,1228	3,0
56	735004	7014302	0,11	99,20	0,69	0,00	0,1174	3,1

Tabela 2: Descrição da localização e análise sedimentar do levantamento realizado no ano de 2006.

<b>Levantamento Sedimentar 2006</b>								
<b>PTO</b>	<b>coordenadas UTM</b>		<b>% CASCALHO</b>	<b>% AREIA</b>	<b>% SILTE</b>	<b>% ARGILA</b>	<b>Diam. (mm)</b>	<b>PHI</b>
A	737769	7011591	0,00	69,44	22,65	7,91	0,0039	8,0
B	738105	7011956	3,89	86,63	9,48	0,00	0,0276	5,2
C	738355	7012596	0,28	98,13	1,59	0,00	0,0237	5,4
D	737262	7011347	0,33	77,92	15,78	5,98	0,0372	4,7
E	736465	7011663	0,04	71,35	24,61	4,01	0,0390	4,7
F	735936	7012318	0,00	71,98	24,09	3,93	0,0388	4,7
G	735486	7012911	1,41	93,56	5,03	0,00	0,0313	5,0
H	735168	7013235	0,00	95,08	4,93	0,00	0,0338	4,9
I	735604	7013539	0,05	66,72	25,06	8,16	0,0388	4,7
J	735401	7013867	0,49	80,32	16,47	2,72	0,0355	4,8
L	735292	7014247	0,00	99,42	0,00	0,00	0,0307	5,0
M	735004	7014302	0,00	99,62	0,00	0,00	0,0299	5,1
N	734984	7013557	0,08	70,53	10,35	19,05	0,0447	4,5
O	737235	7012267	0,24	84,16	7,55	8,06	0,0299	5,1
P	736386	7012564	0,04	69,89	22,31	7,77	0,0037	8,1
R	735932	7014768	0,00	1,67	34,45	63,88	0,0086	6,9
S	736380	7014176	0,02	36,22	36,77	26,99	0,0583	4,1
T	736276	7013513	0,00	71,56	23,03	5,41	0,0384	4,7
U	736846	7011969	0,00	10,32	23,48	66,20	0,0849	3,6

**ANEXO 2**

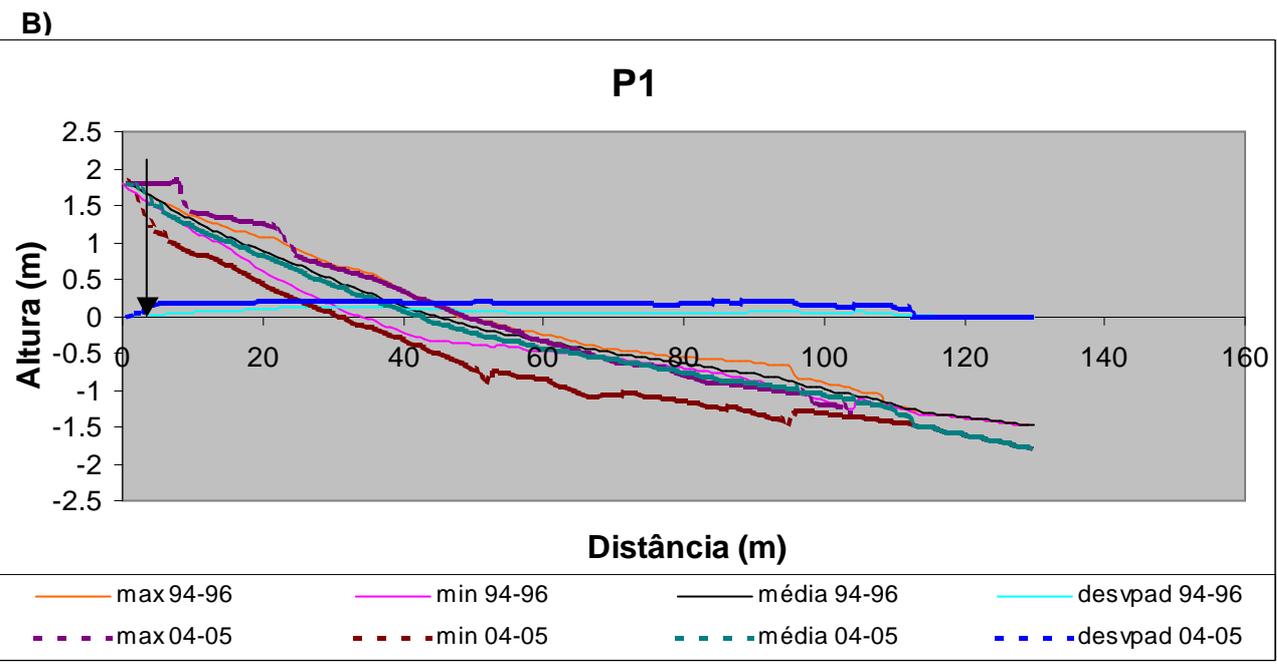
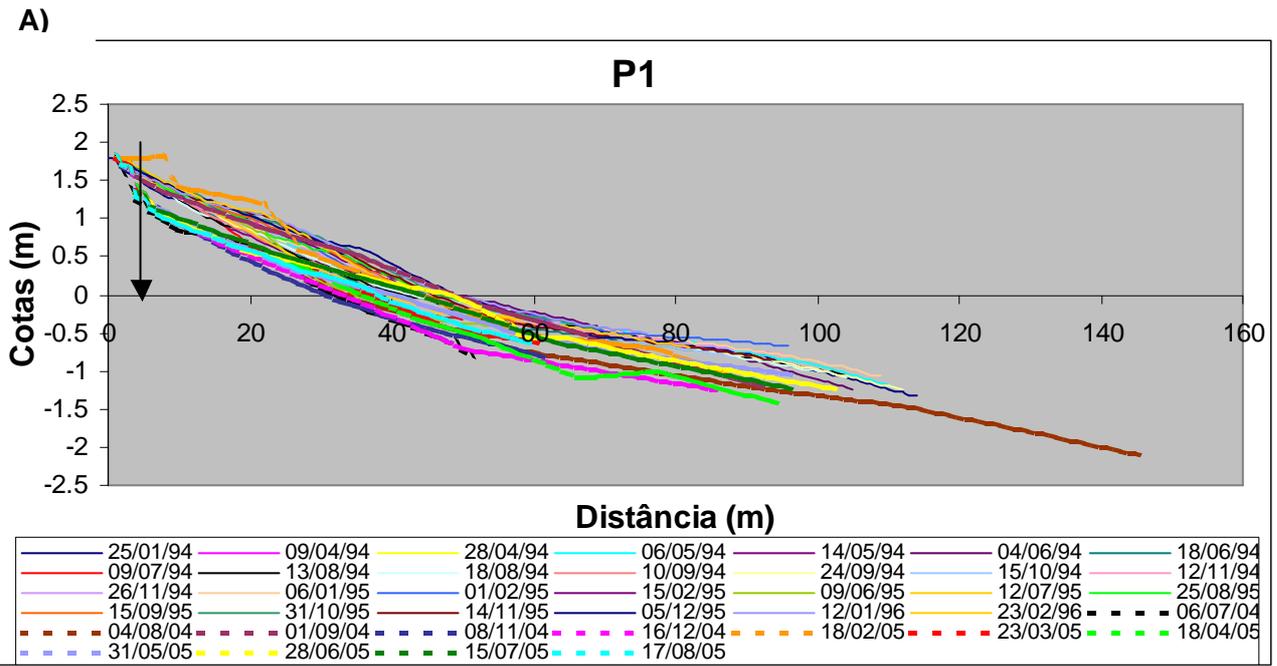


Figura 1 - a) Representação de todos os perfis 1 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

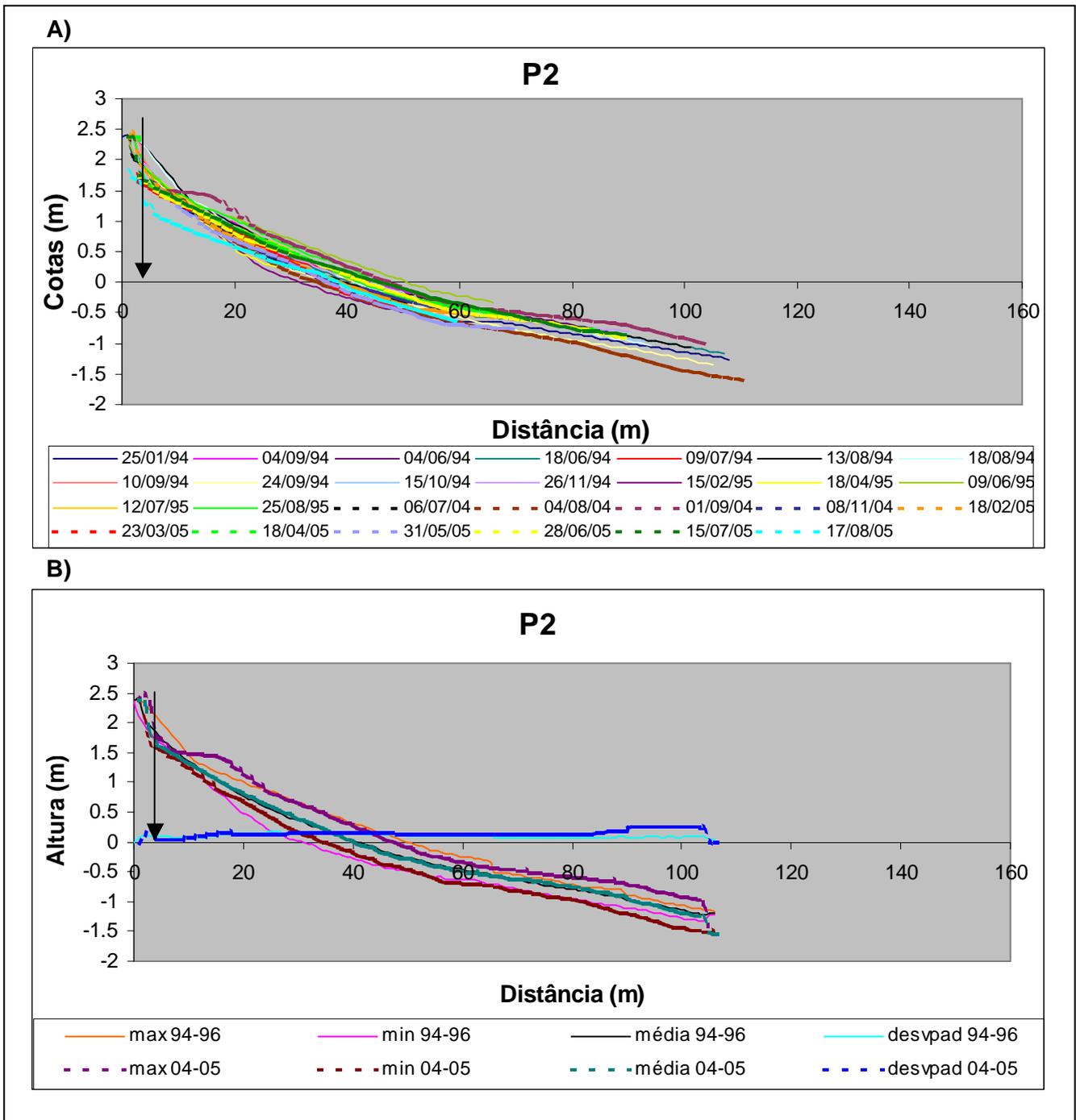


Figura 2 - a) Representação de todos os perfis 2 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

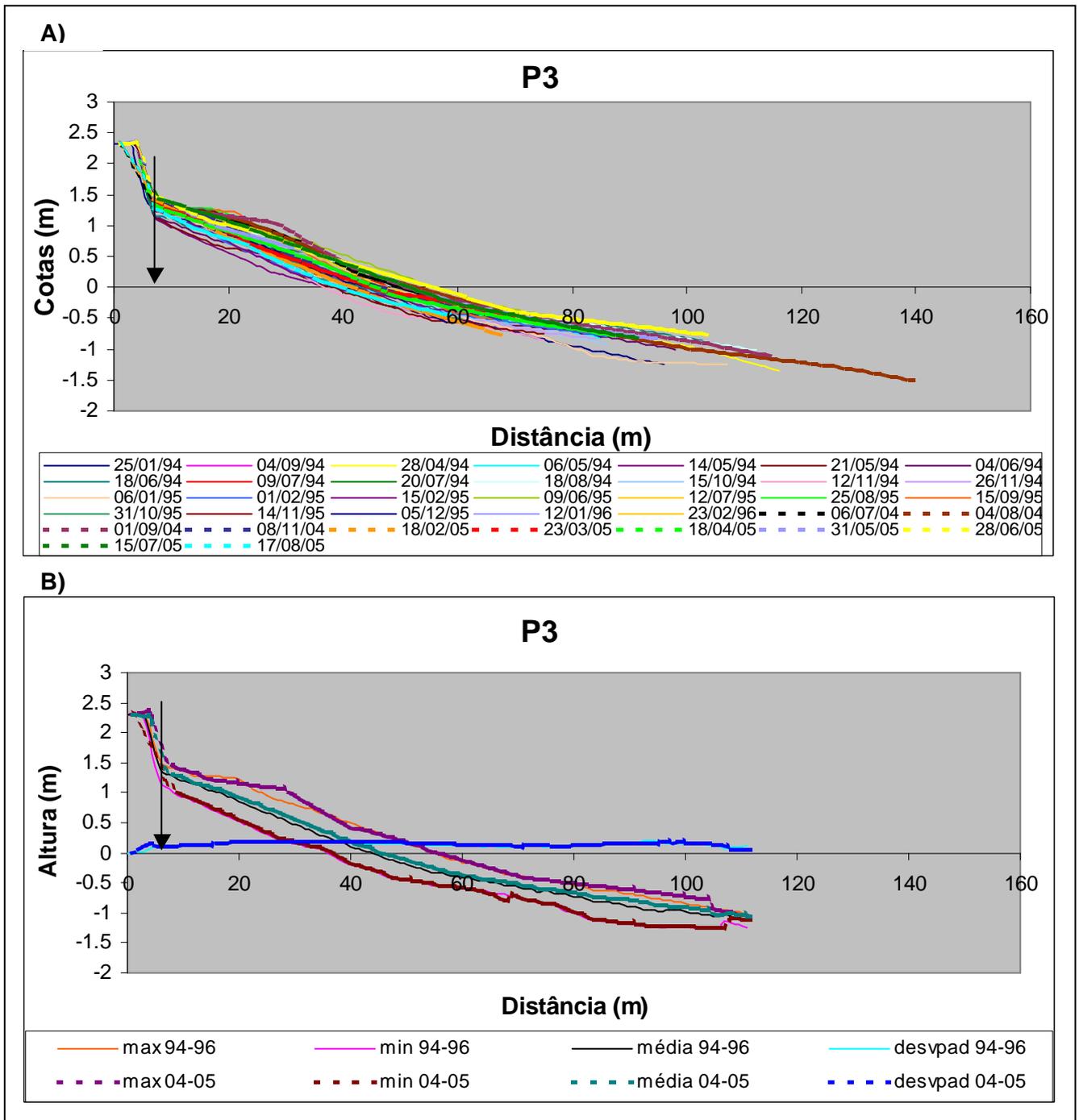


Figura 3 - a) Representação de todos os perfis 3 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

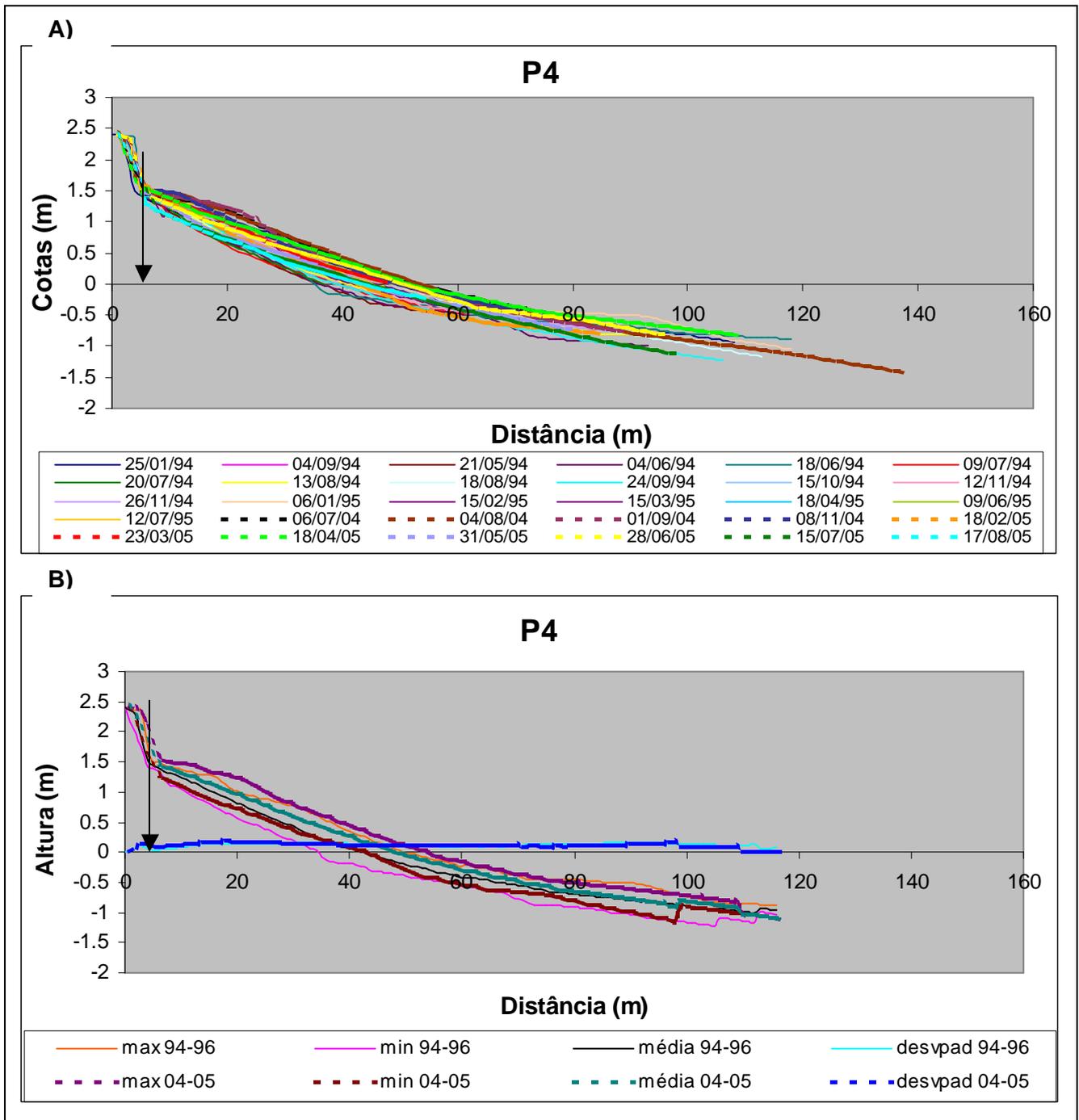


Figura 4 - a) Representação de todos os perfis 4 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

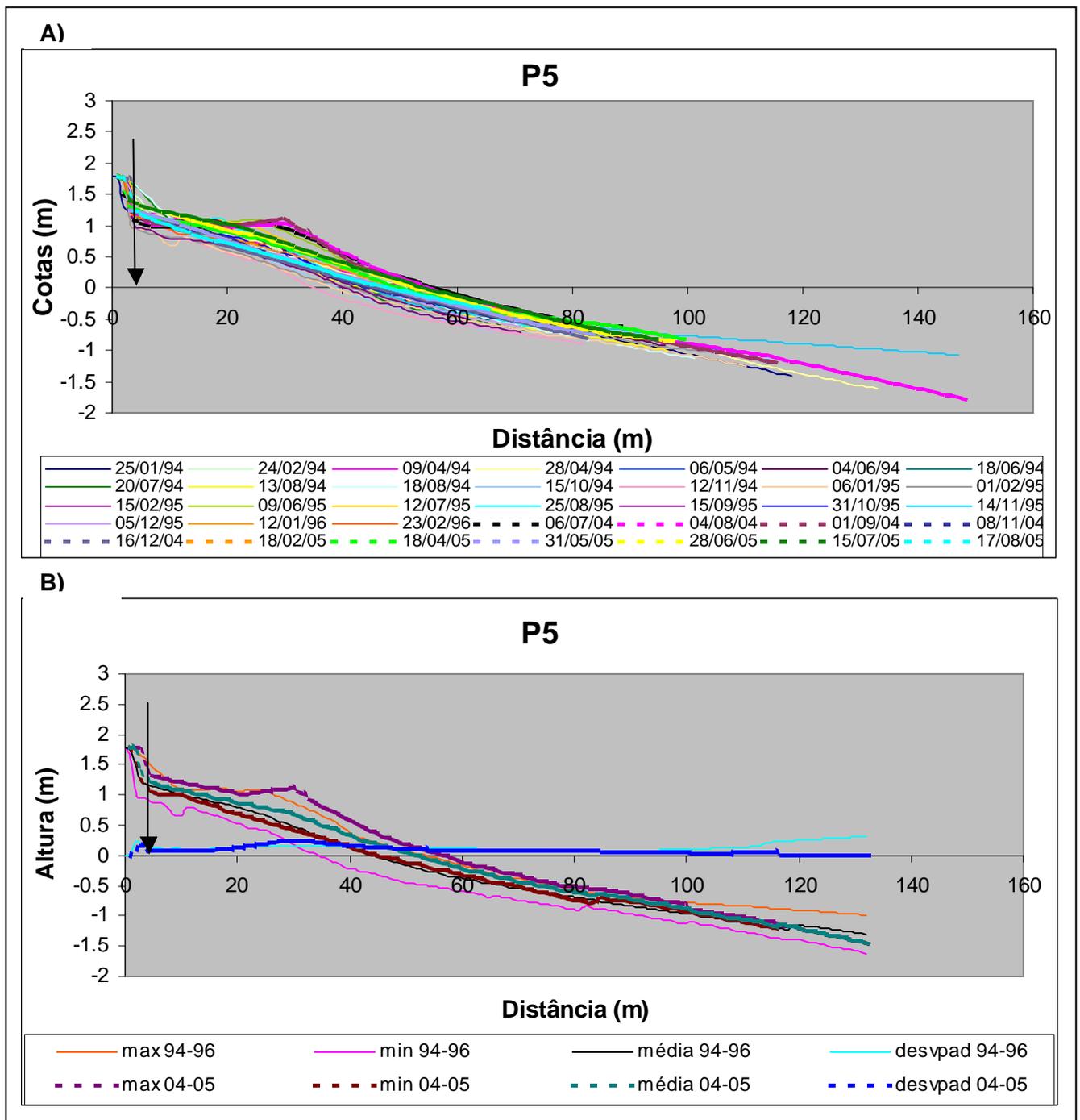


Figura 5 - a) Representação de todos os perfis 5 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

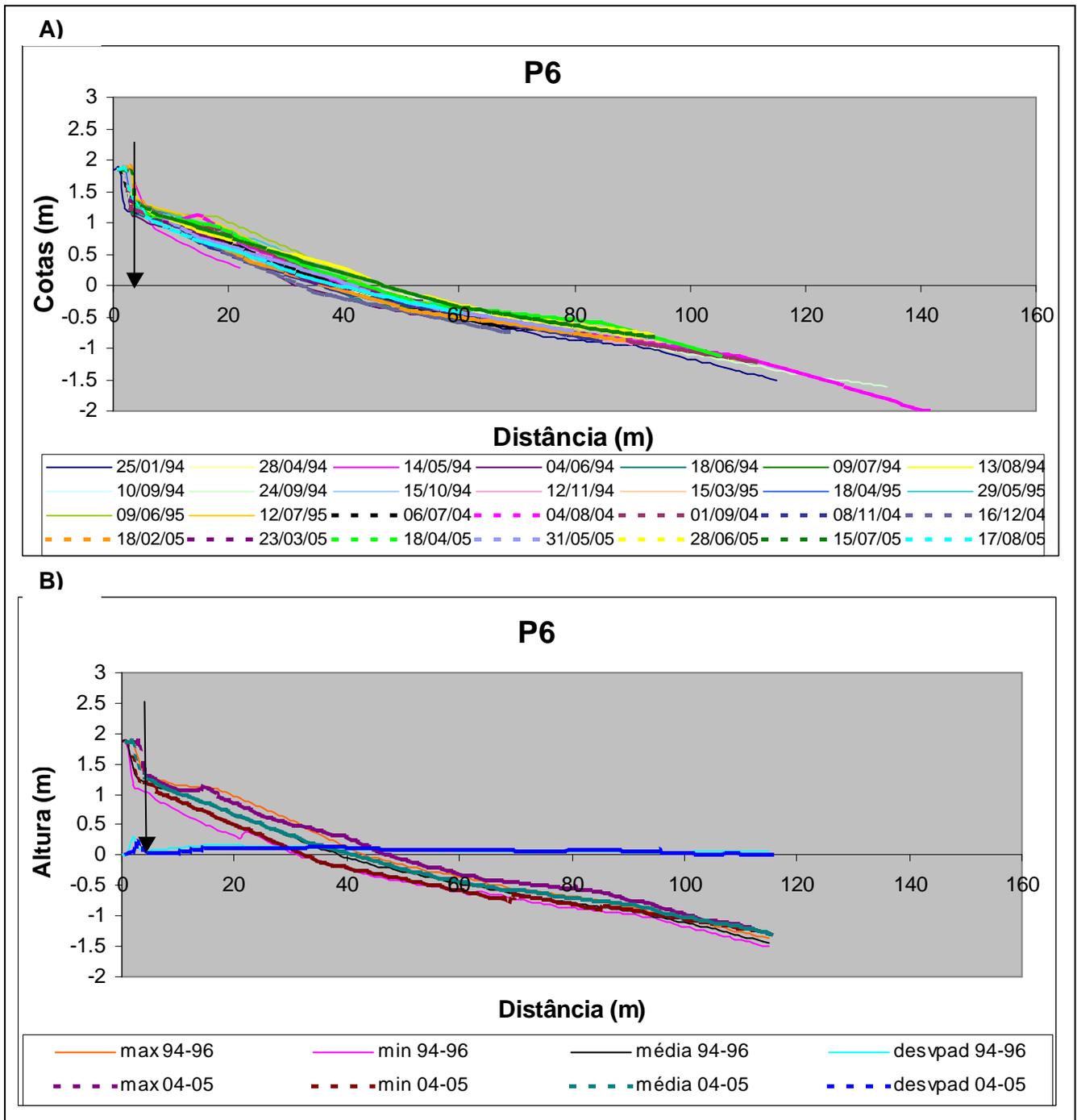


Figura 6 - a) Representação de todos os perfis 6 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

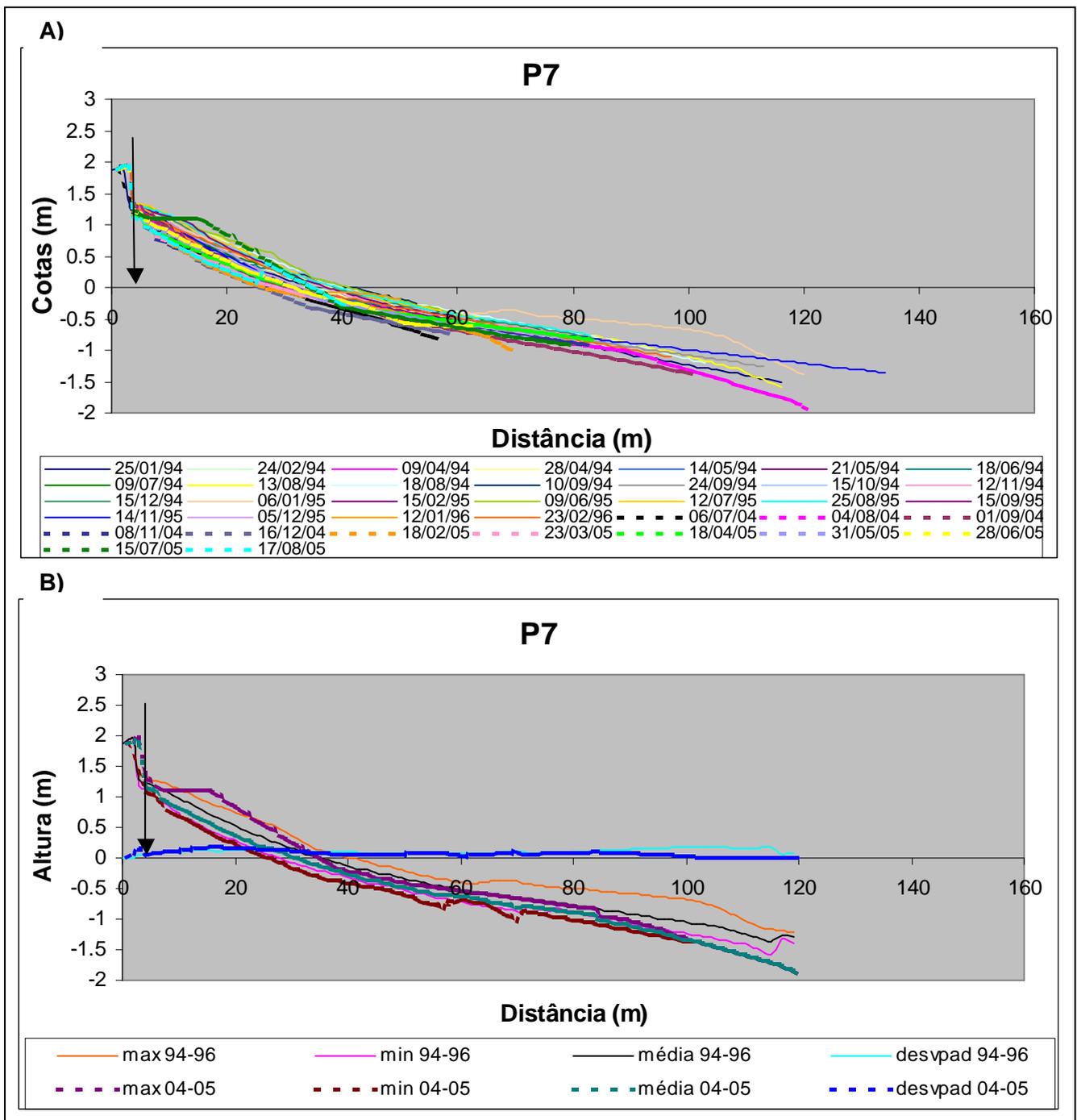


Figura 7 - a) Representação de todos os perfis 7 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

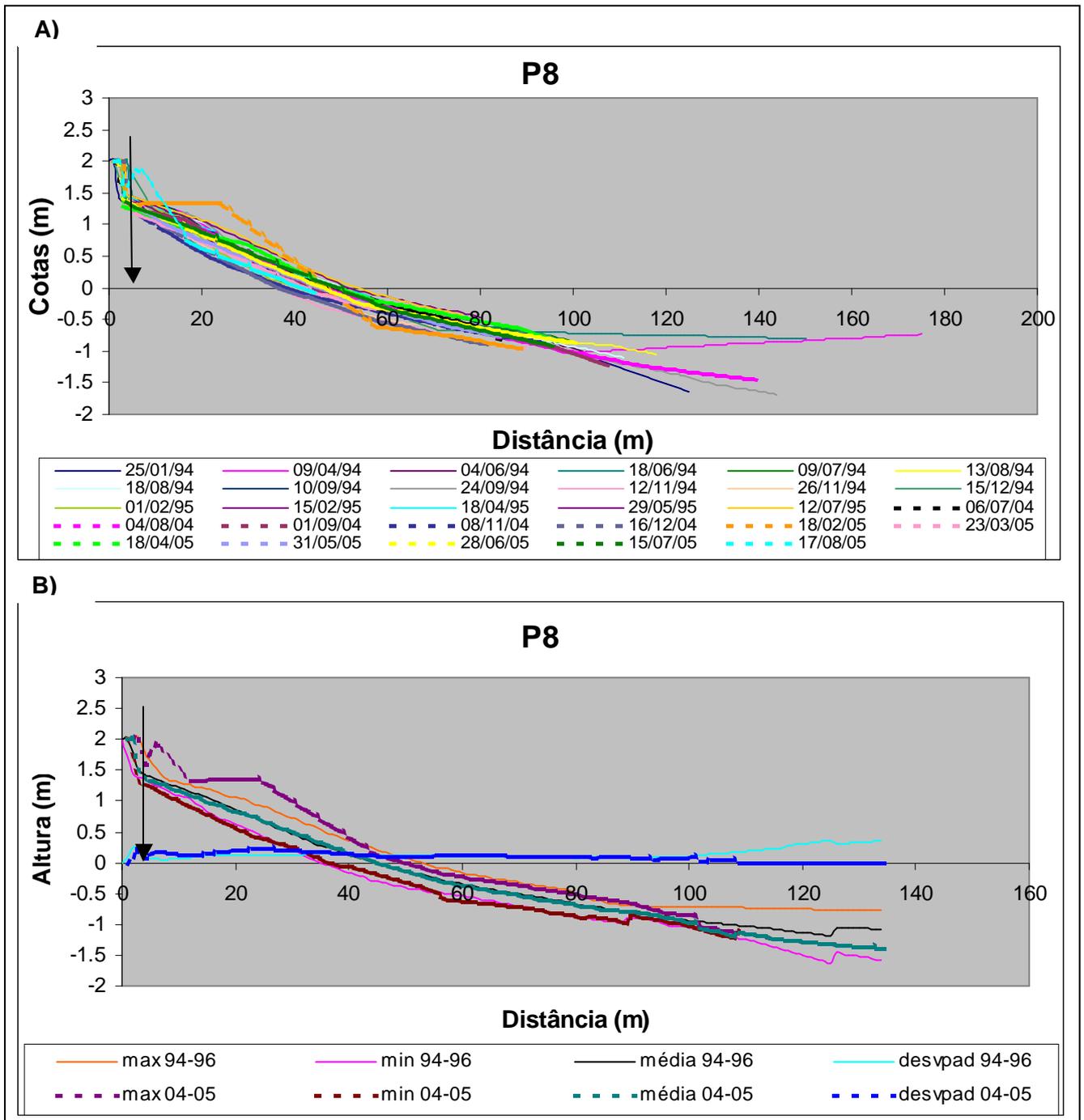


Figura 8 - a) Representação de todos os perfis 8 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

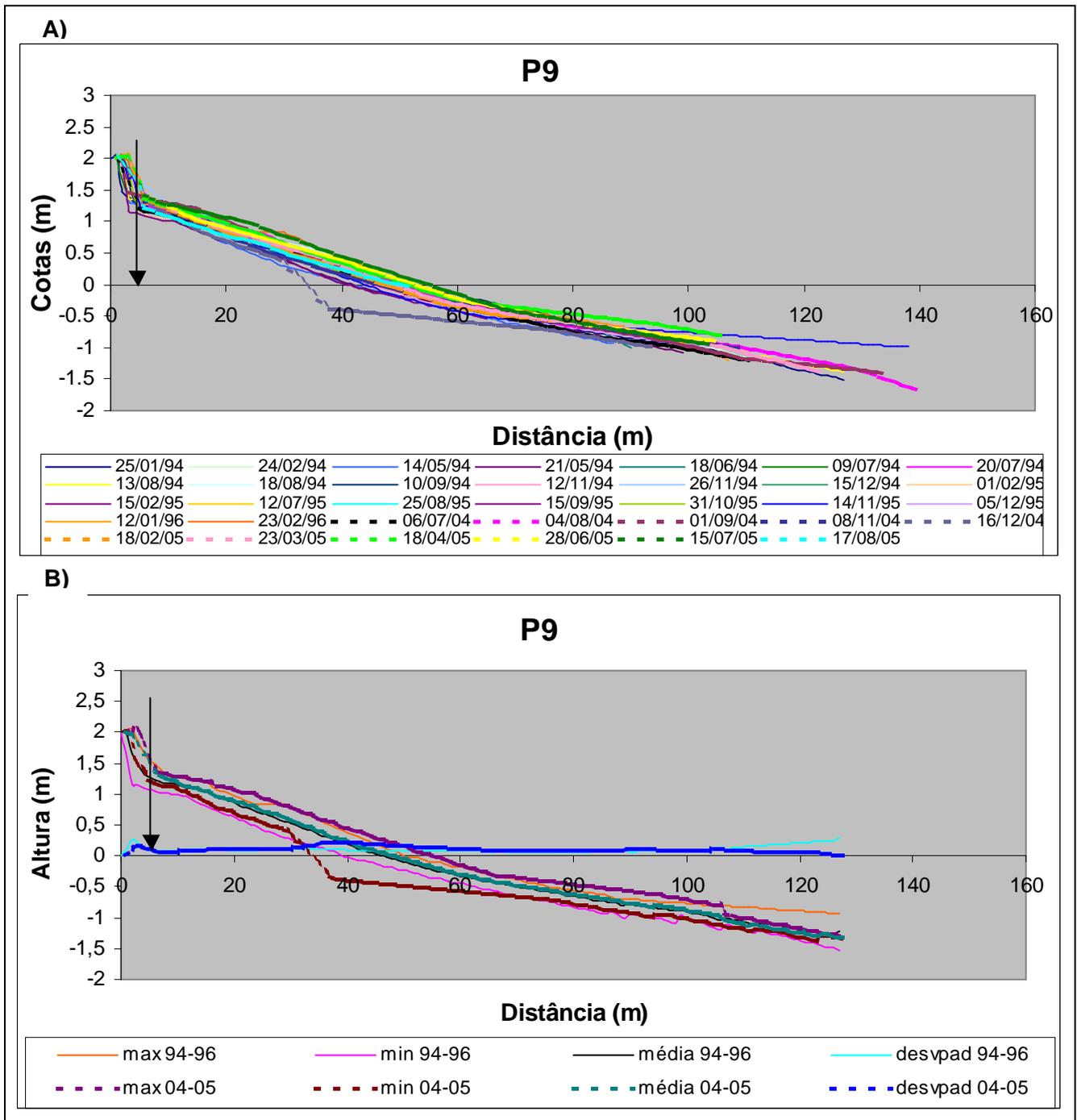


Figura 9 - a) Representação de todos os perfis 9 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

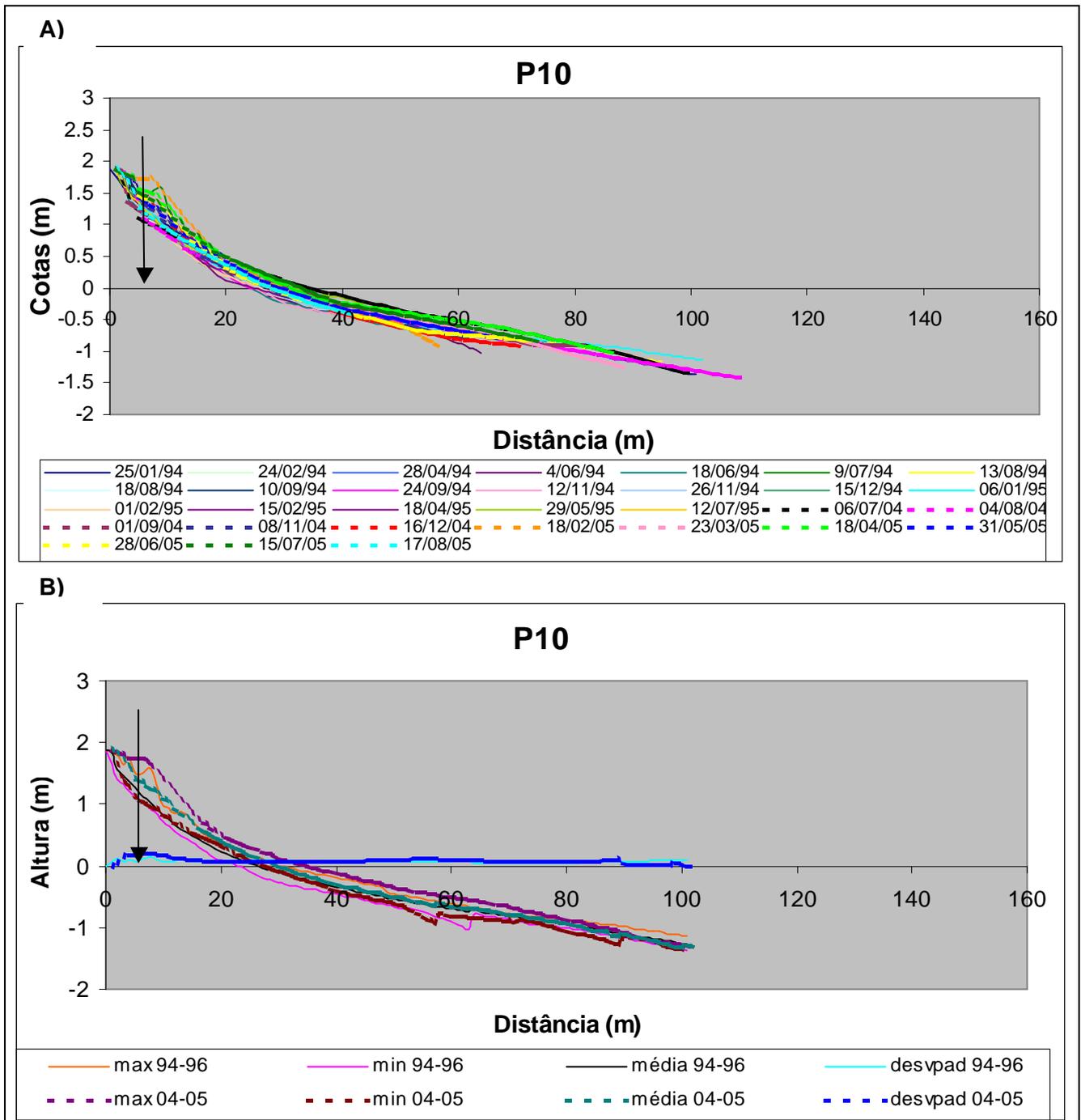


Figura 10 - a) Representação de todos os perfis 10 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

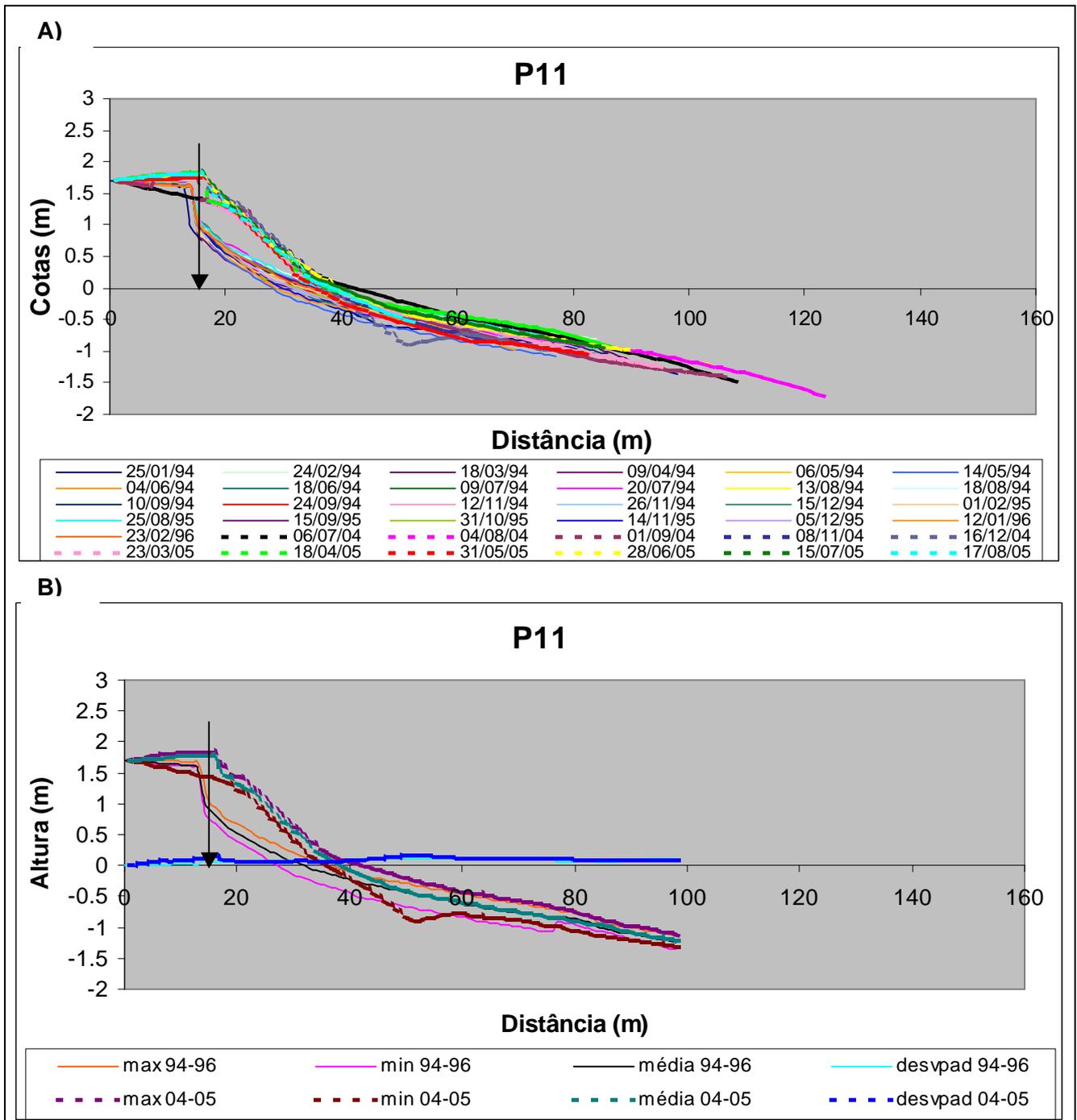


Figura 11 - a) Representação de todos os perfis 11 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

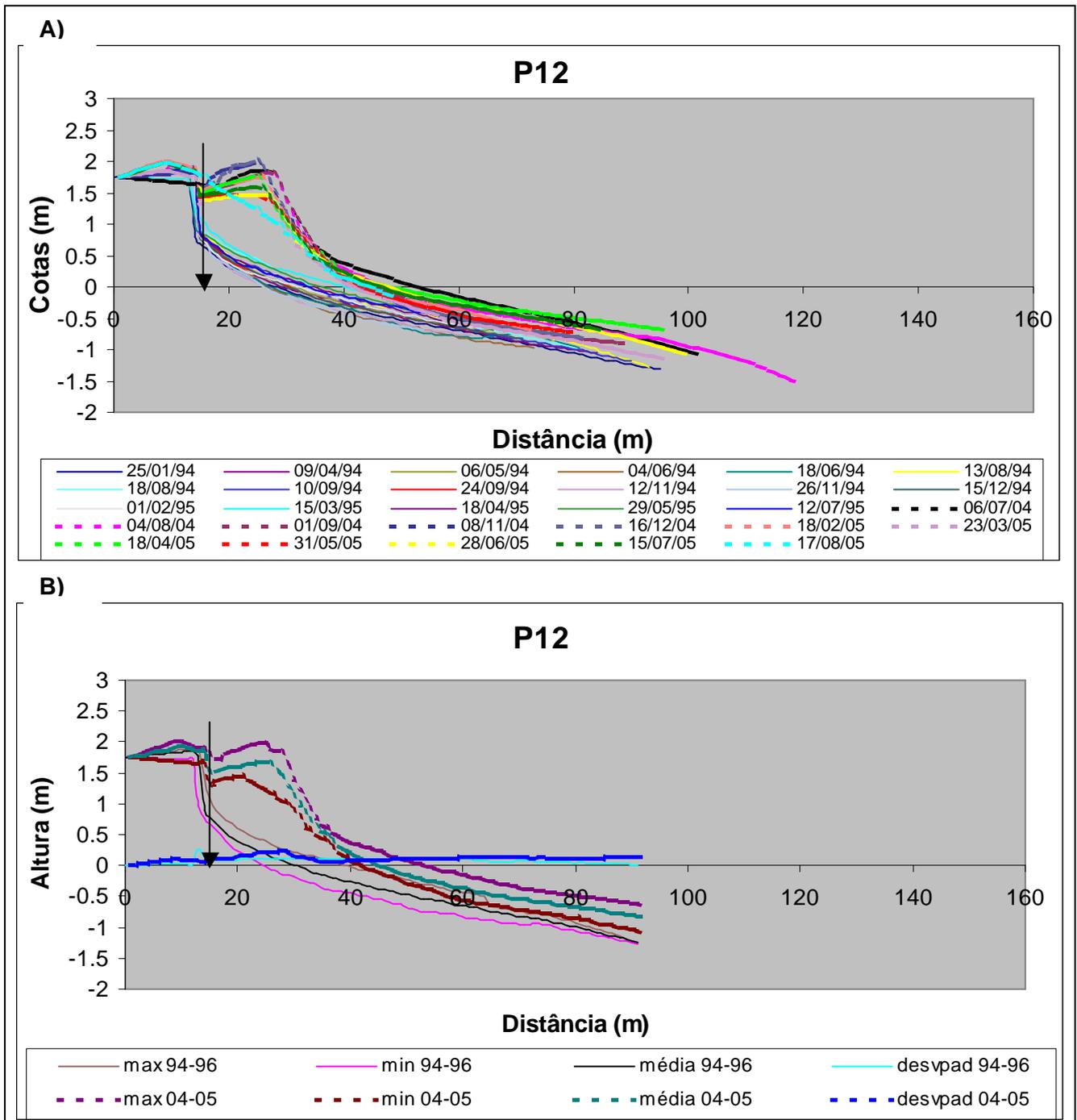


Figura 12 - a) Representação de todos os perfis 12 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

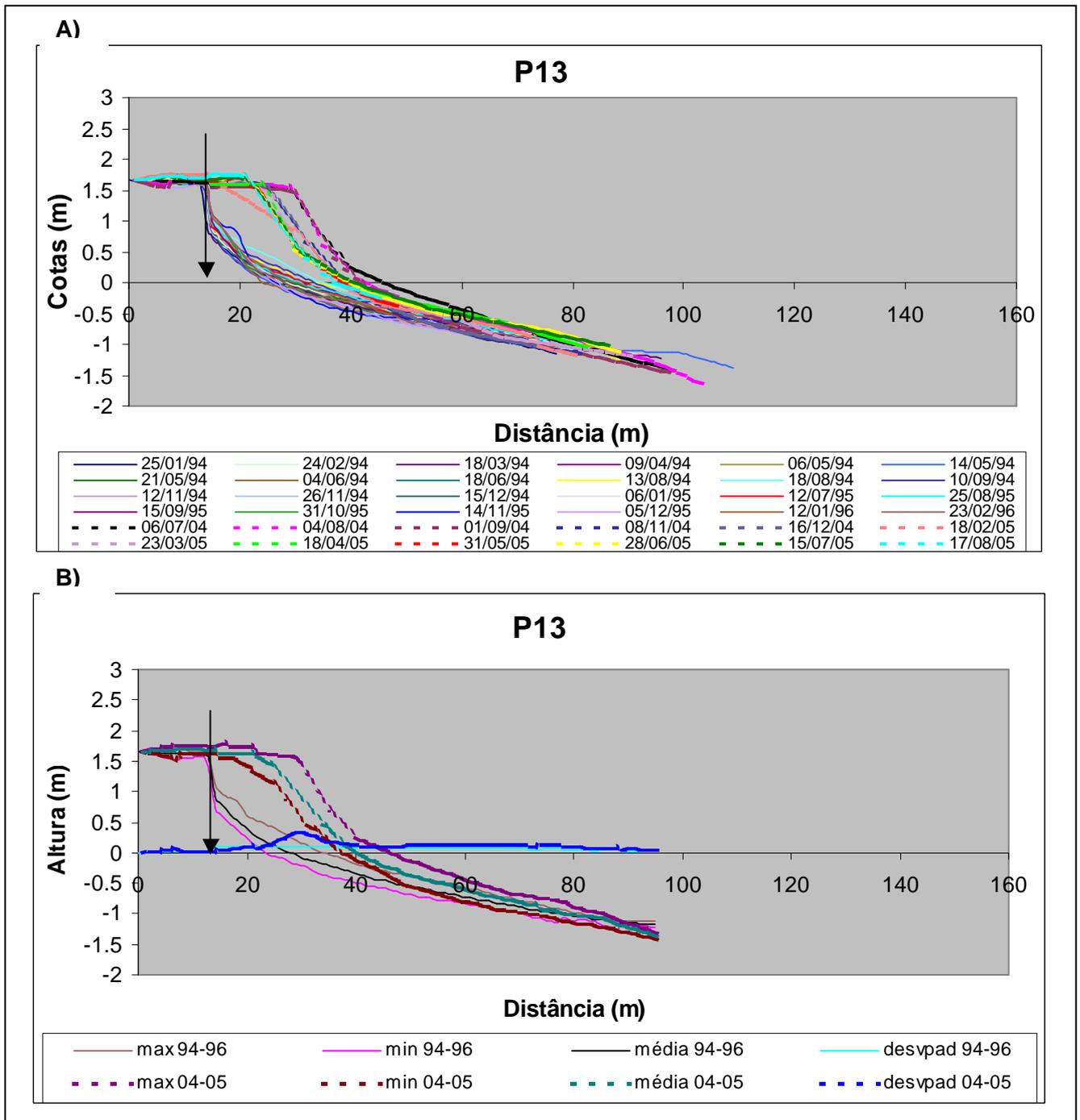


Figura 13 - a) Representação de todos os perfis 13 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

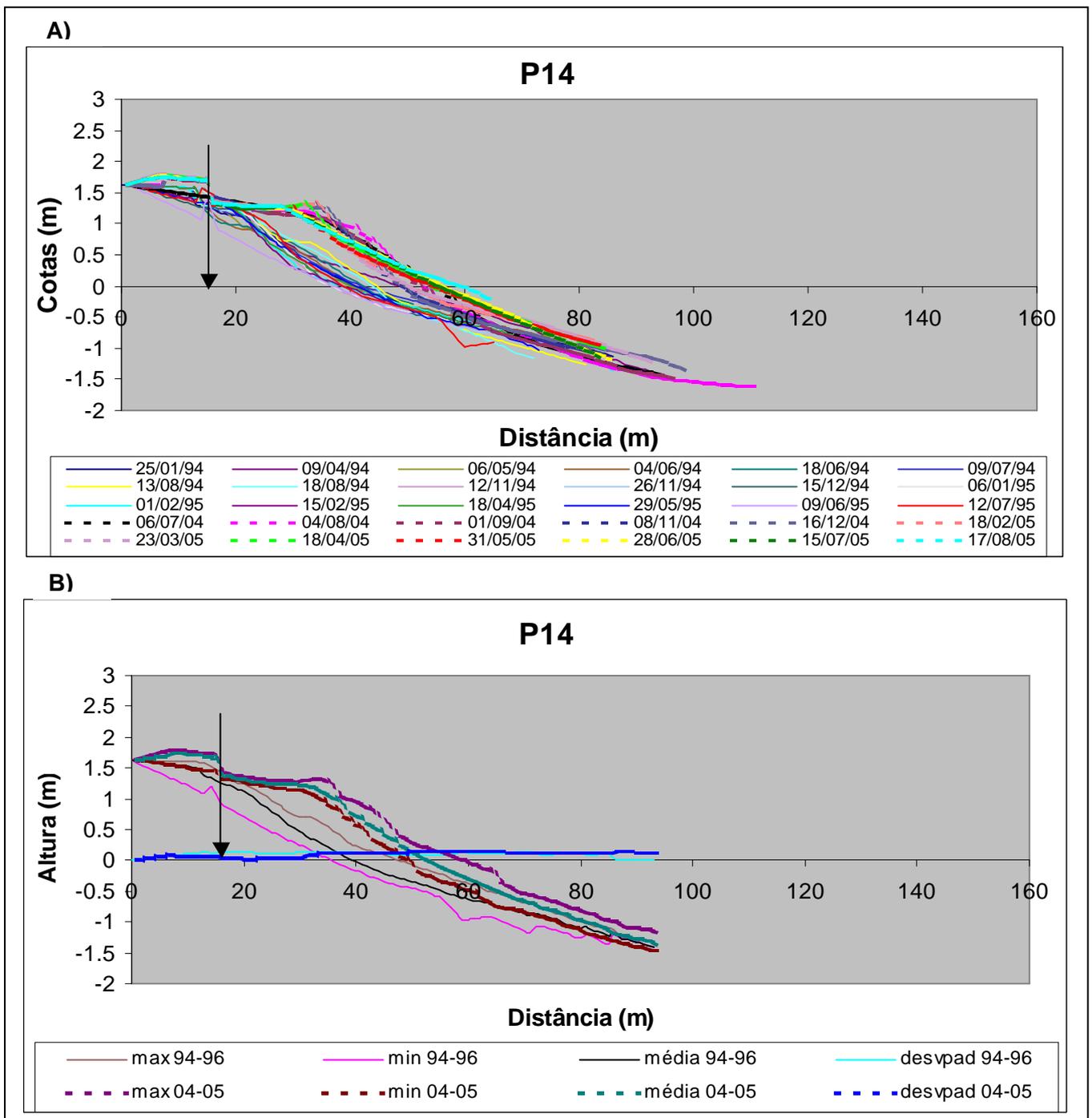


Figura 14 - a) Representação de todos os perfis 14 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

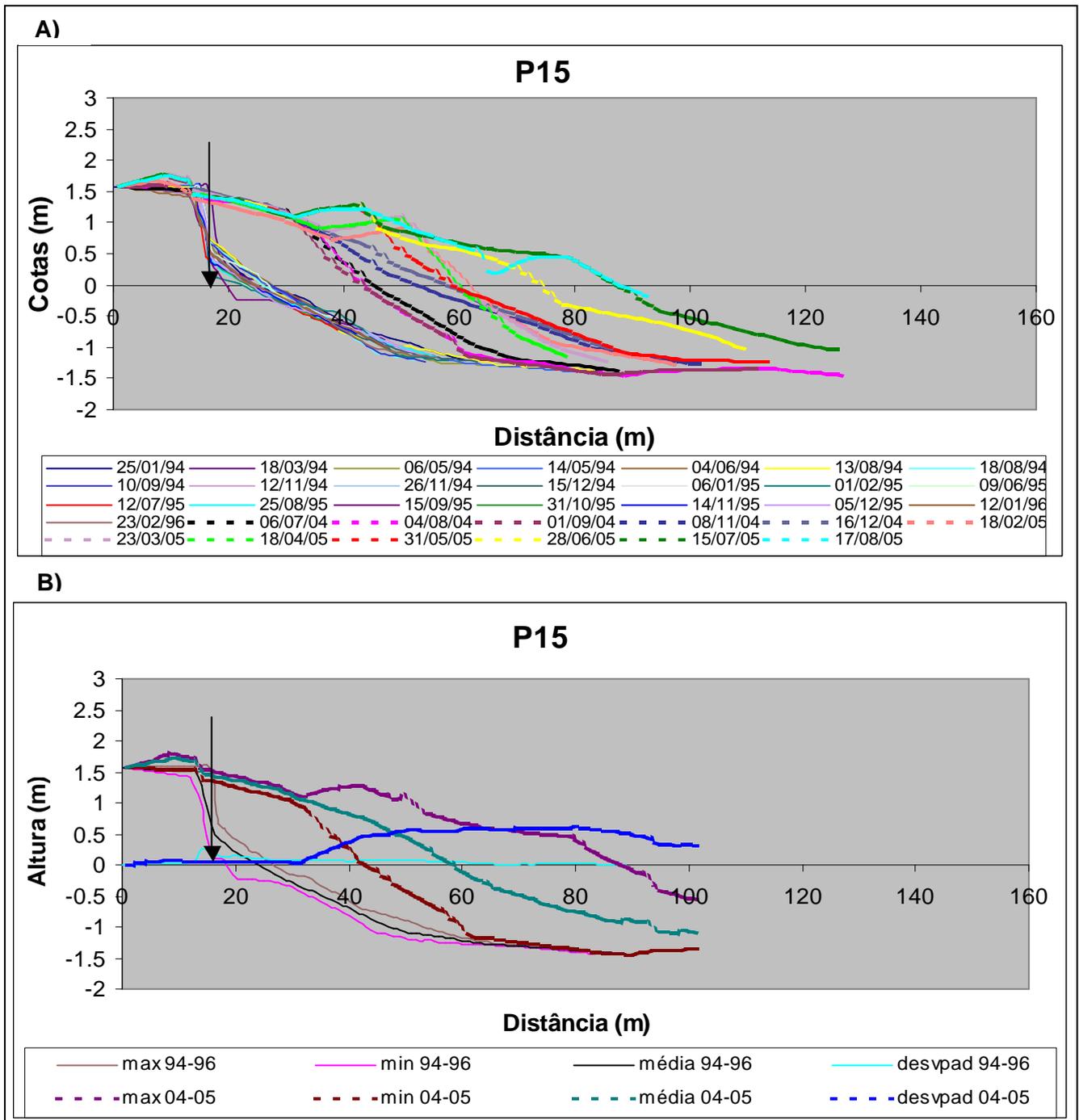


Figura 15 - a) Representação de todos os perfis 15 levantados. b) Perfis máximos, mínimos, médios e os desvios padrão para ambos os períodos.

## **ANEXO 3**

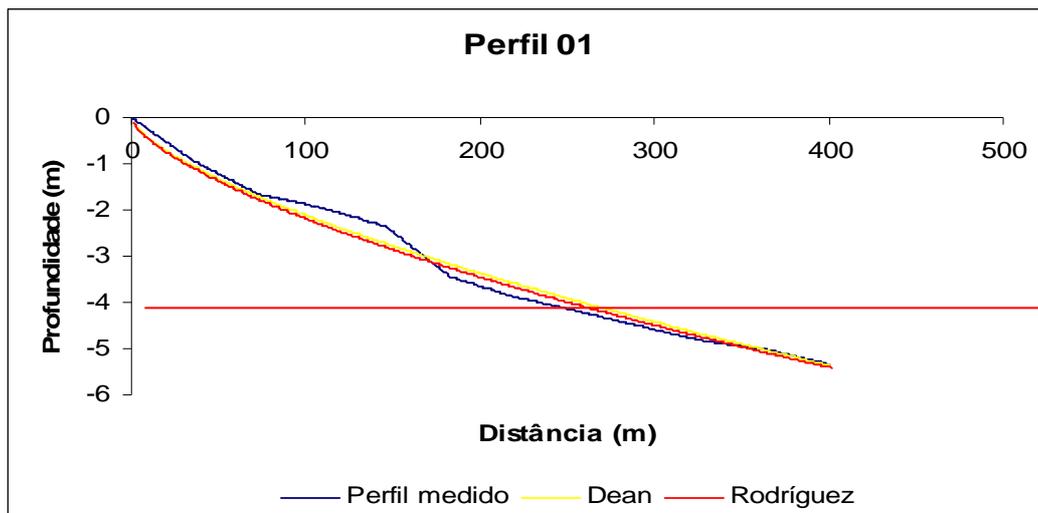


Figura 1 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 1 medido em campo, profundidade de fechamento (linha vermelha).

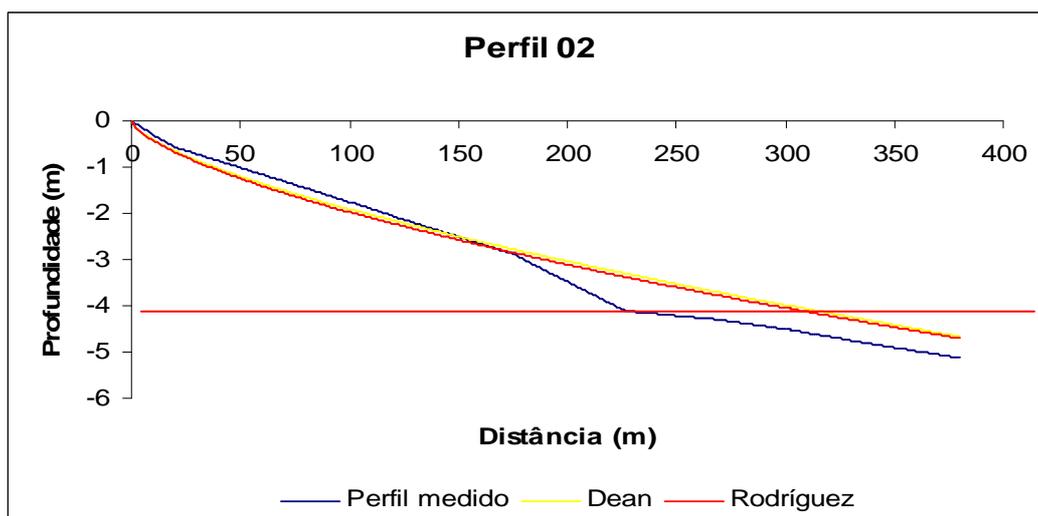


Figura 2 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 2 medido em campo, profundidade de fechamento (linha vermelha).

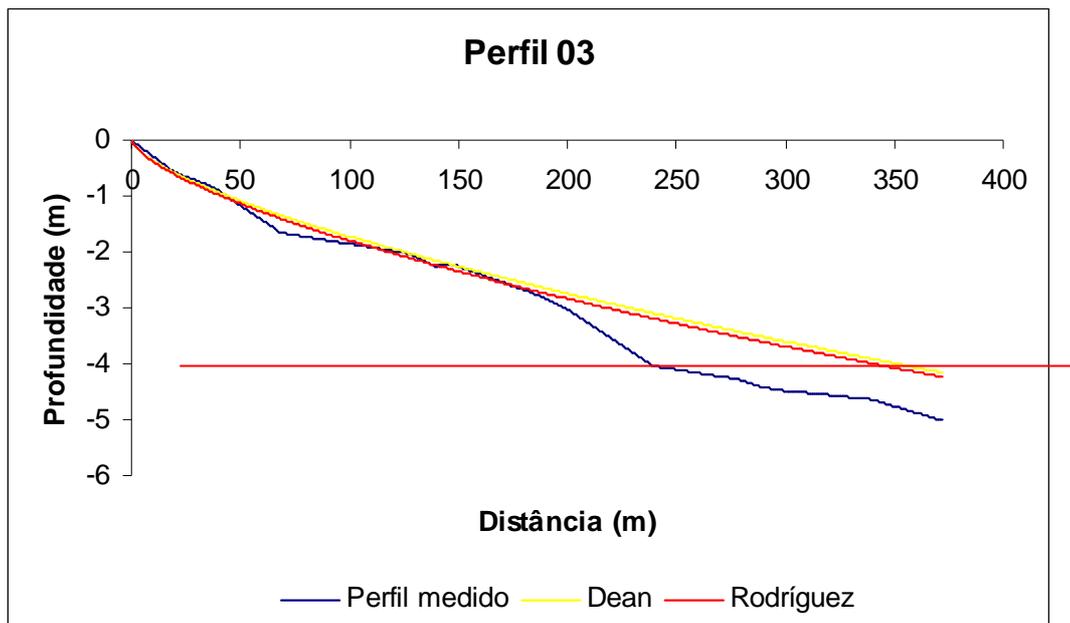


Figura 3 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 3 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

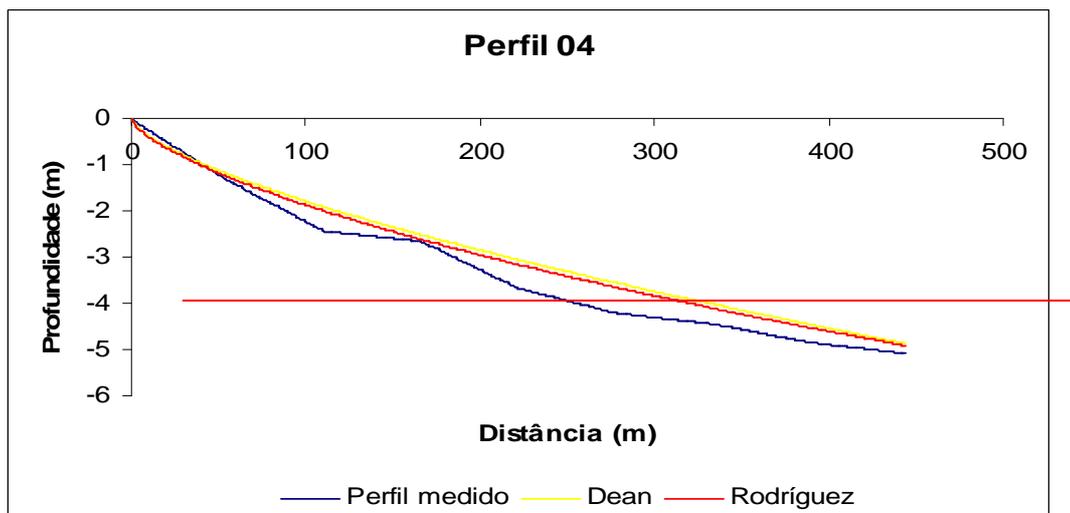


Figura 4 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 4 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

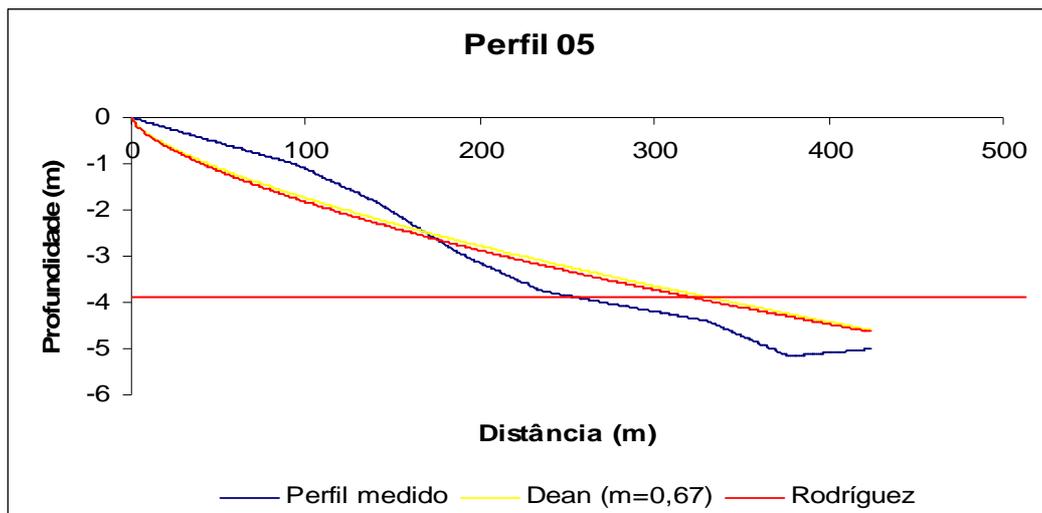


Figura 5 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 5 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

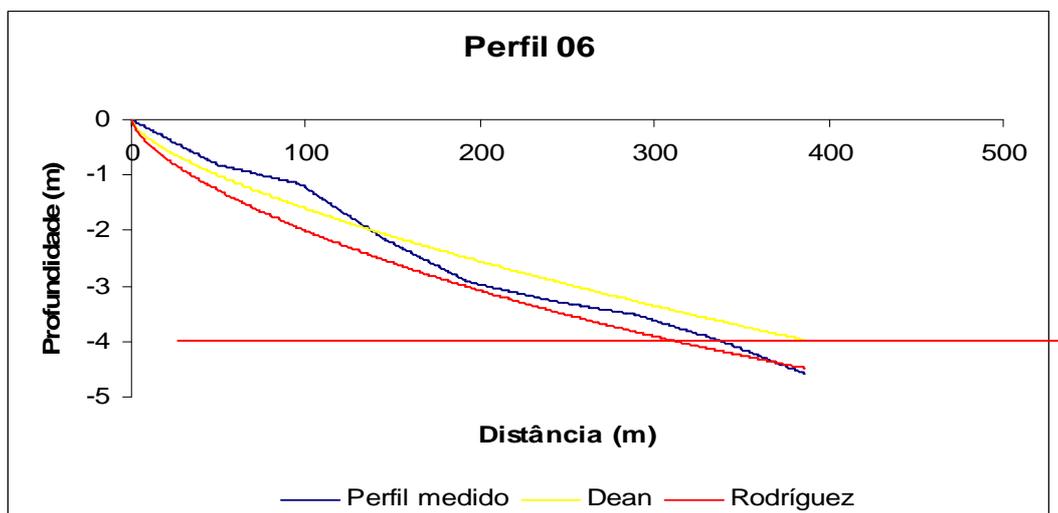


Figura 6 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 6 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

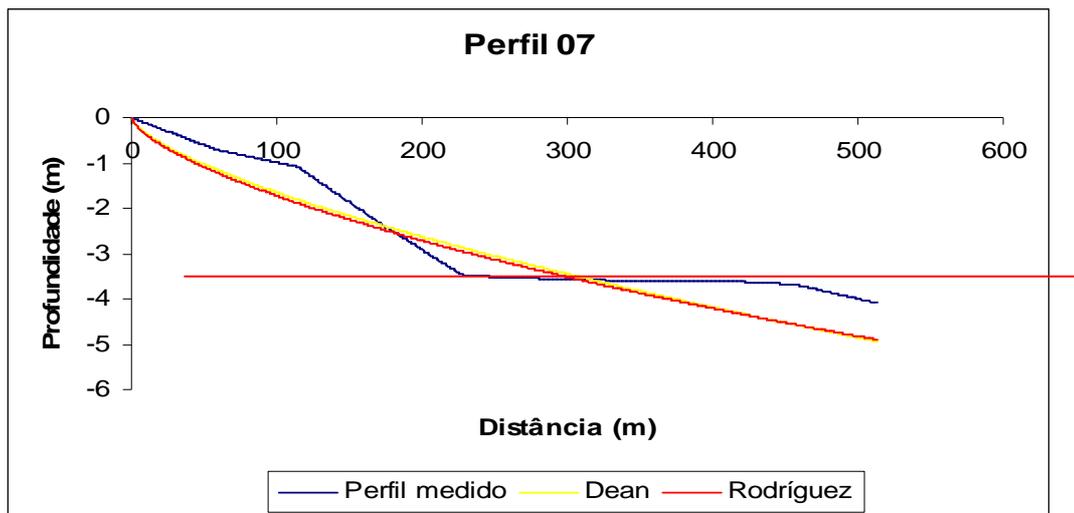


Figura 7 - representação dos perfis de equilíbrio de dean (1977) e rodríguez (1995) sobre o perfil 7 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

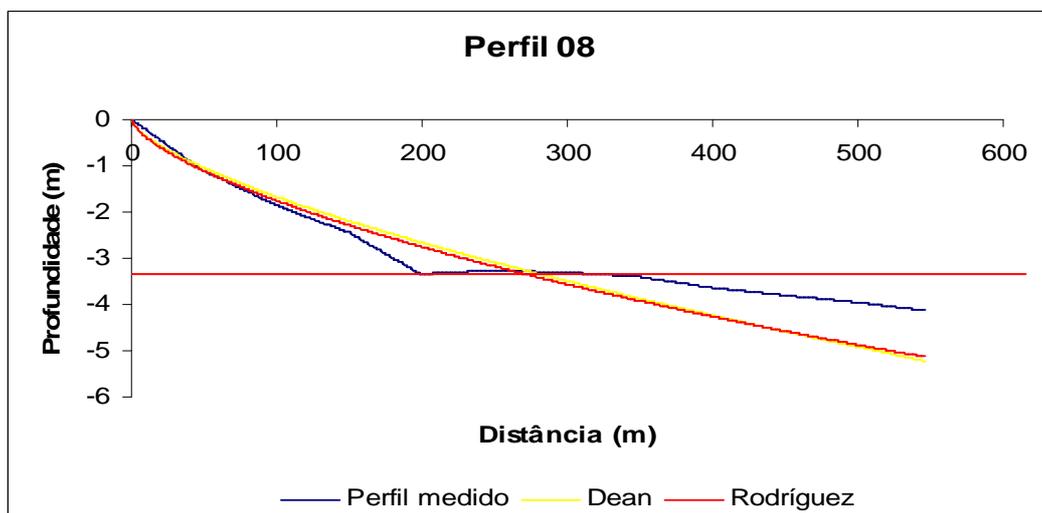


Figura 8 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 8 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

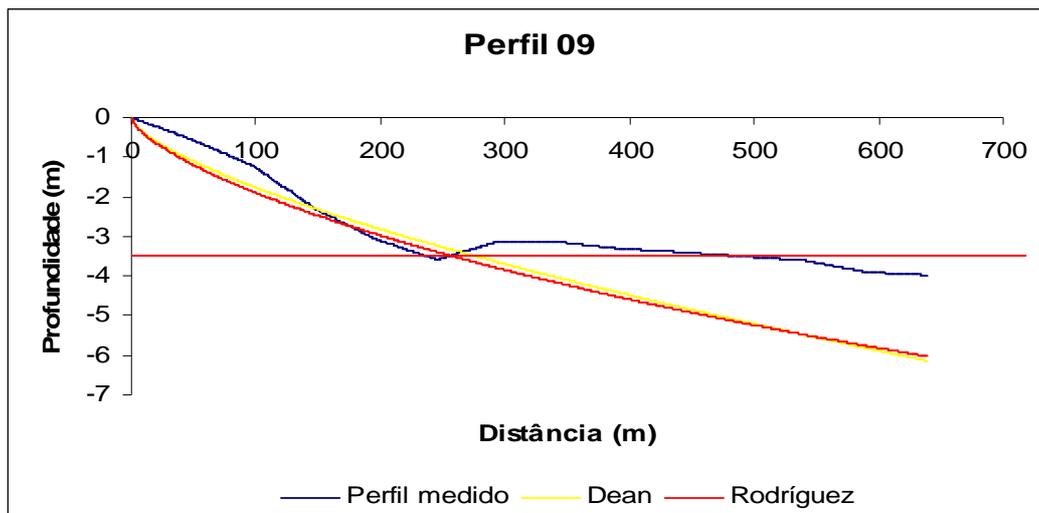


Figura 9 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 9 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

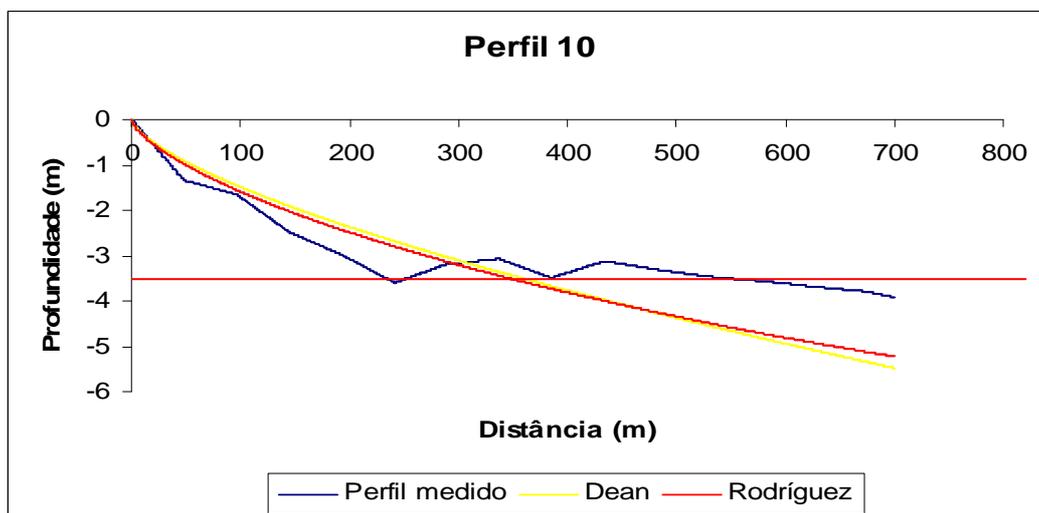


Figura 10 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 10 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

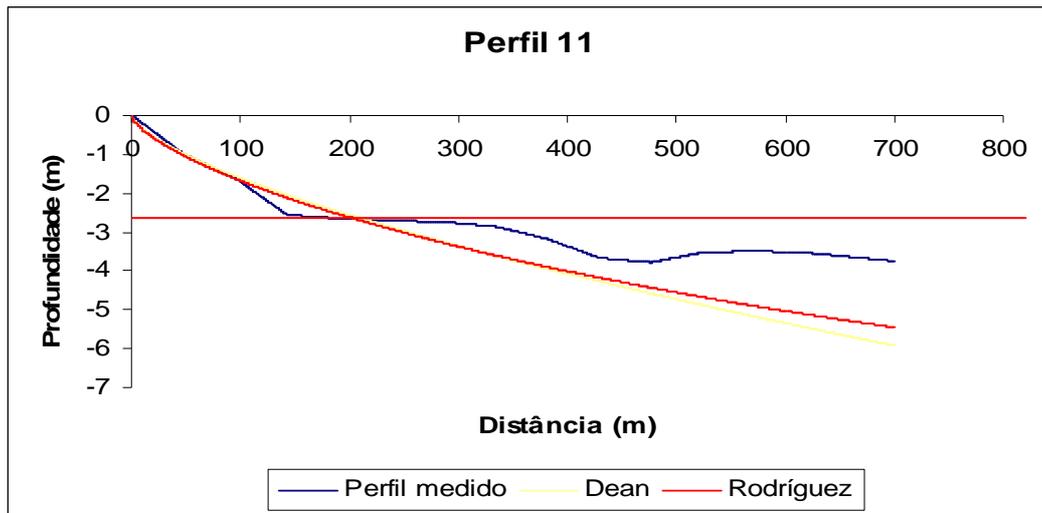


Figura 11 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 11 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

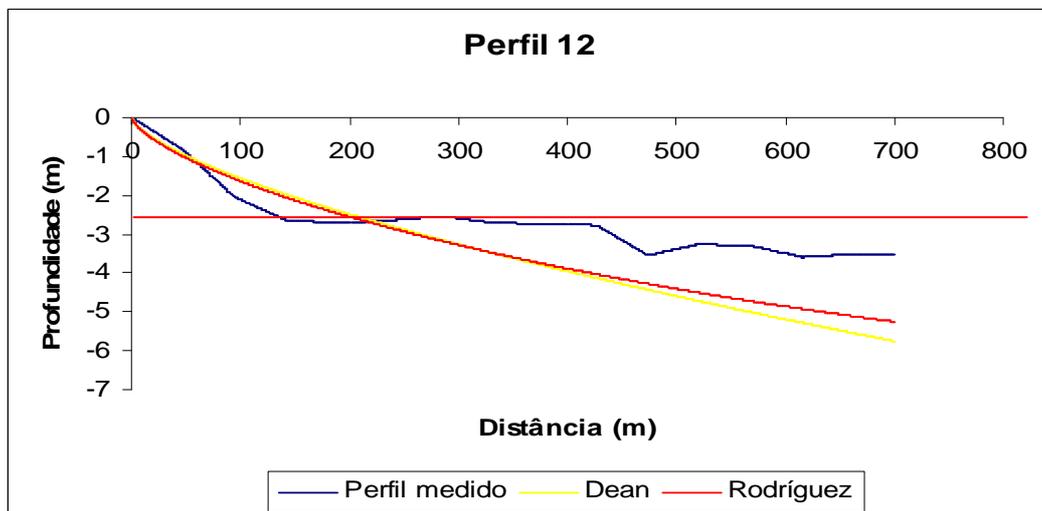


Figura 12 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 12 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

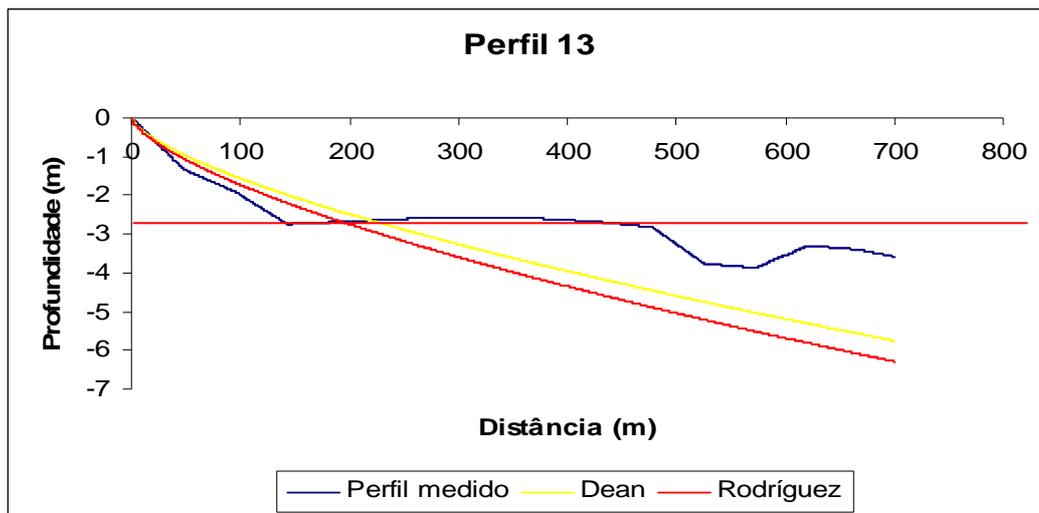


Figura 13 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 13 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

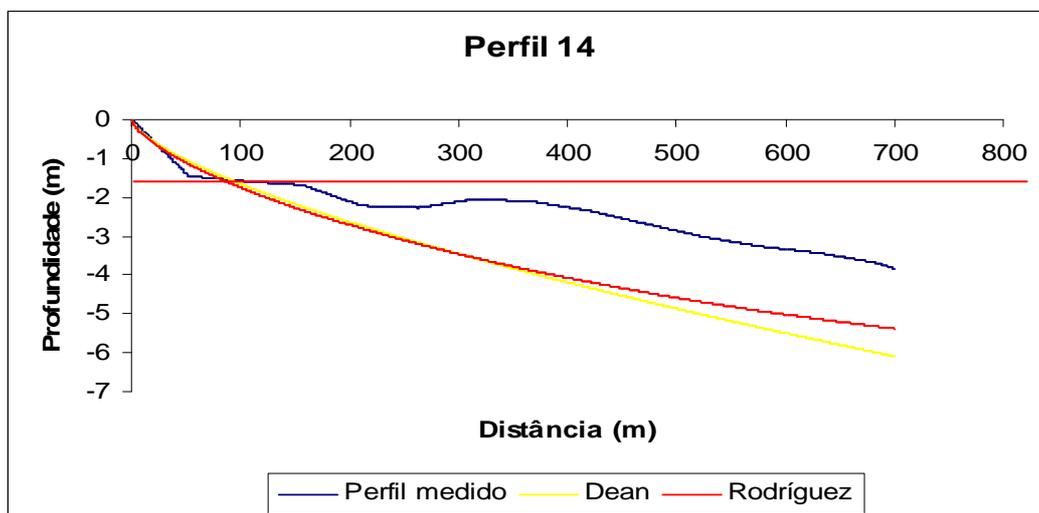


Figura 14 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 14 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

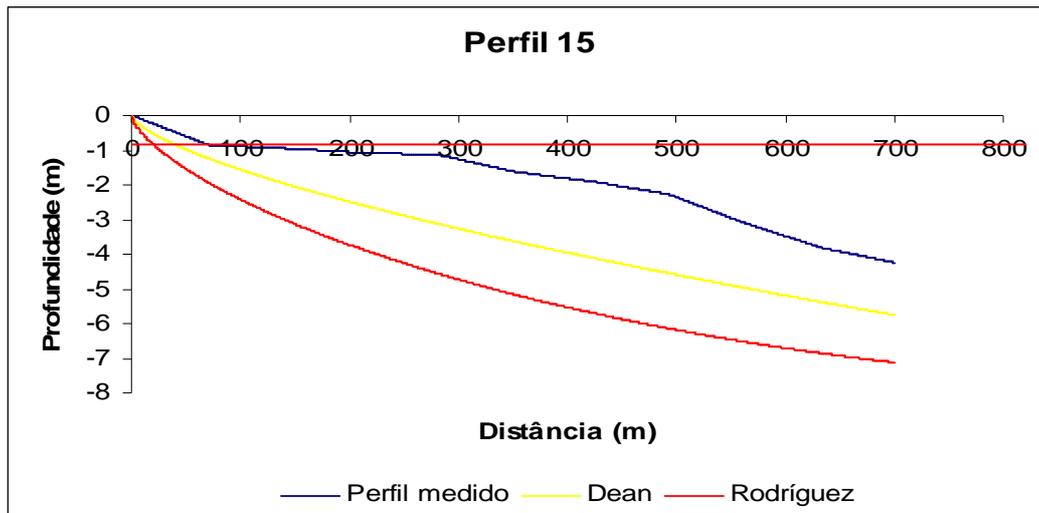


Figura 15 - Representação dos perfis de equilíbrio de Dean (1977) e Rodríguez (1995) sobre o perfil 15 medido em campo profundidade de fechamento (linha vermelha).

## **ANEXO 4**

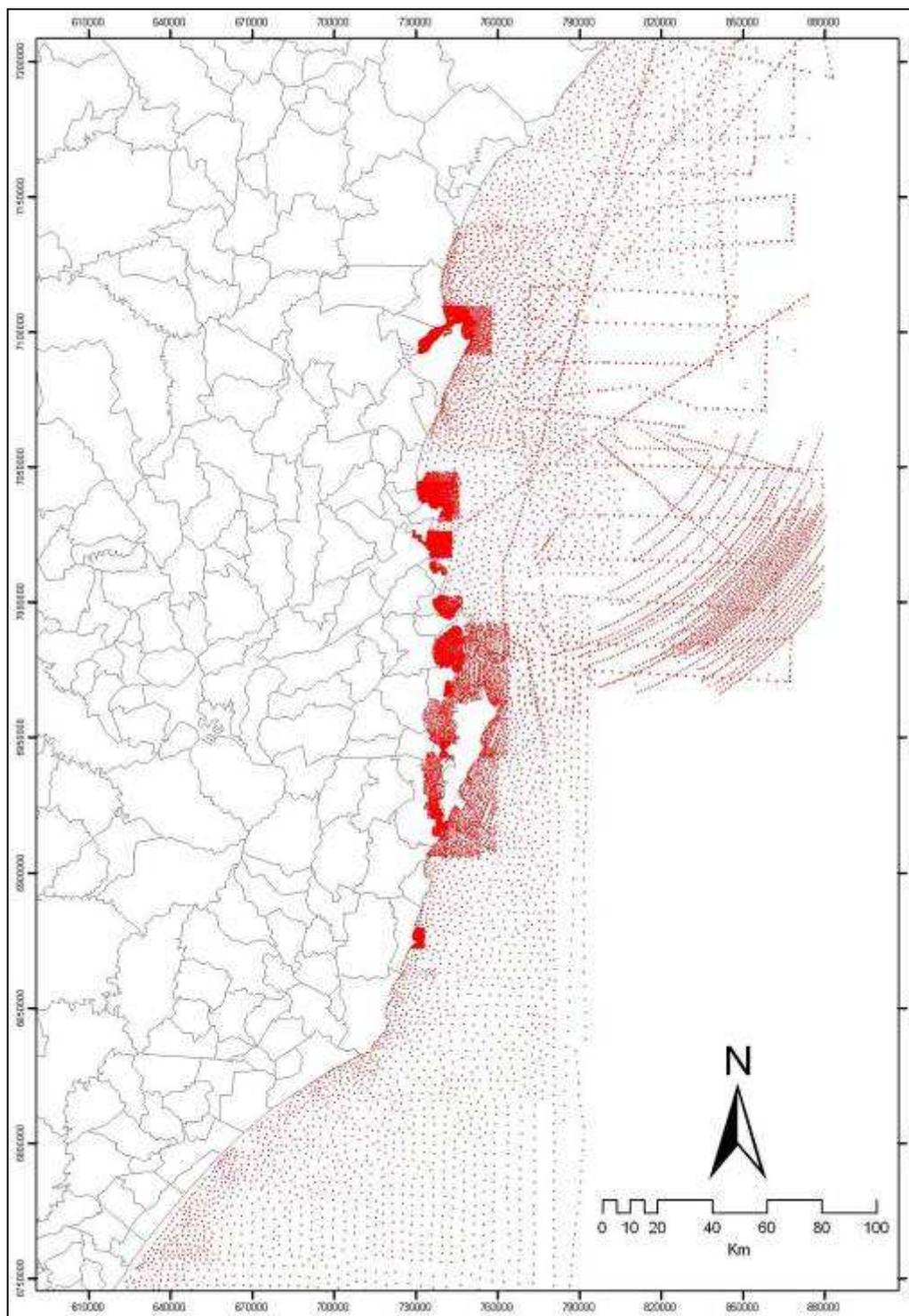


Figura 1 - Batimetria para o litoral do estado de Santa Catarina digitalizada de cartas náuticas do DHN e folhas de bordo.

Tabela 1 Documentos utilizados para a digitalização da batimetria da região.

	<b>Documento</b>	<b>Fonte</b>	<b>Escala</b>
1	Carta Náutica 1800	DHN	1:284530
2	Carta Náutica 1801	DHN	1:15000
3	Carta Náutica 1809	DHN	1:30000
4	Carta Náutica 1811	DHN	1:7500
5	Carta Náutica 1830	DHN	1:89459
6	Carta Náutica 1900	DHN	1:279329
7	Carta Náutica 1903	DHN	1:50075
8	Carta Náutica 1904	DHN	1:49918
9	Carta Náutica 1905	DHN	1:12600
10	Folha de Bordo 1809_1_51	DHN	1:20000
11	Folha de Bordo 1800_01_88	DHN	1:20000
12	Folha de Bordo 1800_1_56	DHN	1:284530