

Alexandre Schweitzer

**MONITORAMENTO DA LINHA DE COSTA:
UMA ANÁLISE DE MÉTODOS E INDICADORES APLICADOS
EM INVESTIGAÇÕES NA ESCALA DE EVENTOS**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Geografia da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Geografia
Orientador: Prof. Dr. Antonio
Henrique da Fontoura Klein.

Florianópolis
2013

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

Schweitzer, Alexandre

MONITORAMENTO DA LINHA DE COSTA : UMA ANÁLISE DE
MÉTODOS E INDICADORES APLICADOS EM INVESTIGAÇÕES NA ESCALA
DE EVENTOS / Alexandre Schweitzer ; orientador, Antonio
Henrique da Fontoura Klein - Florianópolis, SC, 2013.
130 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa
de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. Monitoramento da linha de costa. 3.
Indicadores da posição da linha de costa. 4. Escala de
eventos. I. Fontoura Klein, Antonio Henrique da . II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Geografia. III. Título.

Alexandre Schweitzer

**MONITORAMENTO DA LINHA DE COSTA:
UMA ANÁLISE DE MÉTODOS E INDICADORES APLICADOS
EM INVESTIGAÇÕES NA ESCALA DE EVENTOS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Geografia”, e aprovado em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia

Florianópolis, 18 de outubro de 2013.

Prof. Dr. Márcio Rogério Silveira
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Antonio Henrique da Fontoura Klein, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Jarbas Bonetti, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Norberto Olmiro Horn Filho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Elírio Toldo Jr., Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

A pegada na areia o mar lavou,
Qual lágrima serena a praia consolou,
Temperando pensamentos com sal,
Uma grande lição saboreou.
(Haigui)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a minha família por sempre estarem junto a mim.

Agradeço aos amigos da primeira academia Rapel, Bino, Doido, Paulista, Dum-Dum, Tati, Lucas, Mumha, Mané e toda família Macklaud Chanel, com os quais sempre que precisei pude contar.

Agradeço a Universidade do Vale do Itajaí, em especial a equipe do Laboratório de Oceanografia Geológica pelo compartilhamento do GPS-RTK, sem o qual este trabalho não se realizaria especialmente ao Sangoi, Marquinhos e Cristiano pela colaboração na execução das atividades em Taquarinhas.

A UFSC e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, e especialmente as secretárias do PPGG pelo pronto atendimento sempre que solicitado.

A todos os colegas do LOC, em especial aos bravos parceiros das saídas de campo, Guilherme, Diego, Jonas, Felipe, Pacheco, Priscila, Alexandre Vilci, Arthur, Michel, Rafael, Mariela, e todos os demais aqui não citados, estendendo também aos colegas do LCM pelos papos de café e pelos “experimentos” culinários.

Aos Professores Jarbas e Carla por todo o conhecimento compartilhado.

Ao Allan e a minha querida Dona Benta pela revisão do texto.

A meu orientador Antonio Klein por indicar sempre o caminho certo, mas especialmente pela paciência e dedicação investidas neste projeto.

A Capes pelo financiamento concedido através do edital ciências do mar 03/2008 (Rede Riscos Costeiros).

Por fim agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise dos indicadores da posição da linha de costa, e também dos métodos para o seu monitoramento, aqui aplicados em uma investigação na escala de eventos. Os trabalhos se realizaram em duas praias distintas, sendo uma com características morfodinâmicas intermediária, e outra, reflectiva. No monitoramento da posição de linha de costa foram comparados os métodos DGPS e GPS-RTK, enquanto no levantamento de perfis transversais, foram comparados os métodos GPS-RTK e nivelamento geométrico. A comparação entre os métodos indicou que o DGPS operando no modo cinemático pode ser utilizado em trabalhos de registro da posição da linha de costa, desde que seja realizado o pós-processamento dos dados e que as informações altimétricas não sejam consideradas. O método GPS-RTK teve boa representação dos perfis transversais quando comparado com o nivelamento geométrico. Os resultados obtidos indicaram as diferenças de volume entre 0,1% e 6,4% nos perfis obtidos com cada método. Assim, o trabalho verificou que o GPS-RTK possui precisão suficiente para obter dados de perfis transversais à praia, incluindo dados altimétricos. A análise dos indicadores da posição da linha de costa em campo apontou que a linha seca-molhada e a linha do espraiamento apresentam as maiores mobilidades, com variações de até trinta metros. A base da escarpa foi reconhecida como a feição indicadora mais estável dentre as analisadas, pois representa bem os processos erosivos na escala de eventos. Foram realizados estudos morfológicos utilizando o método GPS-RTK a fim de obter perfis transversais e a linha de costa na base da escarpa. Em todos os eventos monitorados no Camping da Barra foram verificados processos erosivos. Porém ao final do período o volume em todos os perfis aumentou entre $8 \text{ m}^3/\text{m}$ e $17 \text{ m}^3/\text{m}$, apesar do recuo médio de $-0,3\text{m}$ na posição da linha de costa. Em Taquarinhas, apenas um evento foi analisado onde a linha de costa apresentou variação média de $0,1\text{m}$. As variações nos volumes dos perfis ficaram entre $-11 \text{ m}^3/\text{m}$ e $25 \text{ m}^3/\text{m}$, registradas em extremos opostos da praia. A verificação das respostas morfodinâmicas em razão de diferentes padrões de ondas não foram conclusivas, devido ao plano amostral.

Palavras-chave: Monitoramento da linha de costa, Indicadores da posição da linha de costa, Escala de eventos.

ABSTRACT

The present research shows the analysis of the different methods to monitoring the coastal geomorphology and available the shoreline indicators applied in temporal event scale studies. The experiments were made in two different morphodynamic beach type, one intermediate and the other one reflective. A comparative test between the DGPS and GPS-RTK were made to mark the position of the shoreline. Also were compared the use of the GPS-RTK and Geometric Leveling aimed to obtain Beach Profiles. The results shows that the DGPS method can be used in planimetric researches as long as the post processing data is made and the altimetric data are discarded. The method GPS-RTK shows results as good as geometric leveling for the representation of the beach profile, with volumetric differences between 0,1% and 6,4%. The results shows that the GPS-RTK method have enough precision to obtain beach profile data, including altimetric data. The analysis of the shoreline indicators show that the wet dry line and the runup maximum had the biggest mobility, with variations around 30 meters. The most stable shoreline indicator analyzed to represent the erosive process is the scarp base. To monitoring coastal morphologic evolution at a event scale were used GPS-RTK to obtain the position of the shoreline indicator in a scarp base. Erosive processes were verified at Camping da Barra beach. The results shows volumetric accretion between $8 \text{ m}^3/\text{m}$ and $17 \text{ m}^3/\text{m}$ in disparate profiles. While was verified movement of the scarp base in landward with 0,3m during this study in Camping da Barra beach. At Taquarinhas Beach the shore line variation increased a medium rate of 0,1m and a volumetric variation between $11 \text{ m}^3/\text{m}$ and $25 \text{ m}^3/\text{m}$. Was not possible to verified the morphodynamic changes related to different events because the sample of the morphological data were observed with inappropriate interval.

Keywords: Shoreline evolution, Shoreline indicators, Scale events.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Escala espaço temporal para processos de evolução costeira proposta por Cowell e Thom (1994).28
- Figura 2. Localização da área de estudo. A) Litoral catarinense, B) Indicação das áreas de estudo; C) Perfis no Camping da Barra; D)Perfis em Taquarinhas. Fonte: Base cartográfica SPU, IPUF, Projeção Universal Transversa de Mercator, Datum WGS/84.....33
- Figura 3. Vista aérea do Camping da Barra, área vegetada já pertencente ao PERVE e ao fundo a lagoa da Conceição. Imagem: Raphael Ribeiro-Projeto MMA-Rede de Riscos Costeiros e CNPQ 400302/2012-8.....36
- Figura 4. Vista panorâmica da praia de Taquarinhas - município de Balneário Camboriú - SC. Imagem: Raphael Ribeiro-Projeto MMA-Rede de Riscos Costeiros e CNPQ 400302/2012-8. ...38
- Figura 5. Esquema de nivelamento geométrico composto, visadas de ré a vante. Adaptado de Borges (1975).41
- Figura 6. Nível óptico de precisão utilizando no nivelamento geométrico de perfil de praia. Imagem: Alexandre Schweitzer.42
- Figura 7. Relação entre topografia, geóide e elipsóide, adaptado de Seeber, 2003.....45
- Figura 8. Integrantes da equipe do Laboratório de Oceanografia Costeira - LOC (Carla D'Aquino e Guilherme Vieira) com o GPS-RTK nos molhes da Barra da Lagoa, junto ao referencial de nível CASAN 387. Fotografia: Diego Bitencourt.47
- Figura 9. Análise estatística da dispersão dos valores UTM (A, B) e altura GPS (C). O eixo X apresenta os casos estatísticos da análise, no eixo Y os valores padronizados em: A) UTM norte, B) UTM leste, C) Altura GPS em metros.50
- Figura 10. Gráfico de dispersão na reta dos valores;.....51
- Figura 11. Perfis transversais obtidos com nivelamento geométrico (Nível) e GPS-RTK. As áreas no gráfico grifadas em cinza foram consideradas no cálculo do volume. A) perfil 08, B) perfil 09, C) perfil 10.54
- Figura 12. Perfis transversais obtidos com nivelamento geométrico e GPS-RTK. As áreas no gráfico grifadas em cinza foram consideradas no cálculo do volume. D) perfil 08, E) perfil 09, F) perfil 10.55

Figura 13. Indicadores da posição da linha de costa destacados por Boak e Turner (2005) e Toldo Jr. e Almeida (2003), figura adaptada de Boak e Turner (2005).	64
Figura 14. Indicadores da posição da linha de costa selecionados para as análises. Vista de Sul para Norte da Barra da Lagoa.	65
Figura 15. Roda de transporte para a antena móvel do conjunto GPS-RTK, com destaques na imagem para ressaltar a inclinação da antena. Imagem: Jonas Gomes Oliveira. Outubro/2011.	68
Figura 16. A) Localização dos perfis DSAS em Taquarinhas; B) Espacialização dos três indicadores da linha de costa analisados na praia de Taquarinhas.....	71
Figura 17. A) Localização dos perfis DSAS na Barra da Lagoa; B) Espacialização dos três indicadores da linha de costa analisados na Barra da Lagoa.	72
Figura 18. Análise do DSAS 4.0 no método SCE (<i>Shoreline Change Envelope</i>), A) Barra da Lagoa; B) Taquarinhas.....	75
Figura 19. Variações obtidas no DSAS no método SCE, para os indicadores da linha de costa; A) Base da escarpa; B) Areia Seca-molhada; C) Espraimento.....	76
Figura 20. Indicadores da posição da linha de costa na Barra da Lagoa, sobrepostos na duna escarpada. A) Escarpa de erosão; B) Base da escarpa; C) Topo da escarpa; D) Linha da vegetação; E) Camada paludial turfácea.....	77
Figura 21. Blocos de turfa retrabalhados pela ação das ondas de tempestade e depositados após a duna frontal através de uma ruptura de deflação, Barra da Lagoa, junho/2011.	78
Figura 22. Linha da vegetação avançando em direção a praia, colonizando a duna frontal. Ponta das Aranhas, agosto/2011.	79
Figura 23. Escarpa de erosão com a vegetação e raízes que colonizavam a duna frontal recém erodida. Barra da Lagoa, agosto/2011.	80
Figura 24. Indicação das distintas fronteiras de umidade na areia, que podem indicar a linha seca-molhada, em uma praia classificada como intermediária. Barra da Lagoa, vista de norte para sul, agosto/2012.	82
Figura 25. Indicador da posição da linha de costa no espraimento das ondas. Barra da Lagoa, vista de Sul para Norte, maio/2012.	83
Figura 26. Localização da Bóia ID ARGUS-69150. Fonte: Marinha do Brasil, Imagem: Google Earth.	88
Figura 27. Fluxograma da metodologia para análise da evolução costeira na escala de eventos.....	89

Figura 28. Alturas de ondas registradas pela bóia ARGUS, com destaques nas alturas máximas das ondas nos eventos estudados. Fonte: Marinha do Brasil.....	90
Figura 29. Registros de ondas da bóia durante o evento 1; no eixo principal a direção média das ondas em graus e no eixo secundário altura máxima das ondas em metros. Fonte: Marinha do Brasil.....	91
Figura 30. Variações obtidas em análises da linha de costa no DSAS, empregando o método NSM, que verifica a diferença entre duas linhas.....	93
Figura 31. Variação da base da escarpa em metros no evento 1, A) dados registrados antes e depois do evento, indicação dos perfis DSAS em 1, 15, 25 e 30, B) Detalhe da variação do indicador nos perfis DSAS 24, 25 e 26, C) Gráfico da variação analisadas pelo método SCE no DSAS.....	94
Figura 32. Registros de ondas da bóia durante o período do evento 2(Fonte: Marinha do Brasil). No eixo principal a direção média das ondas em graus e no eixo secundário altura das ondas em metros. Nos destaques as datas de realização dos campos no Camping da Barra e Taquarinhas.....	95
Figura 33. Variações do evento 2obtidas em análises da linha de costa no DSAS, empregando o método NSM.	97
Figura 34. Camping da Barra - duna frontal descaracterizada junto ao estacionamento, área coincidente com perfis DSAS 08 a 12, após o evento 2. Imagem: Alexandre Schweitzer.	97
Figura 35. Variação da base da escarpa em metros no evento 2, no Camping da Barra, A) Dados registrados antes e depois do evento, indicação dos perfis DSAS em 1, 9, 15 e 30; B) Detalhe da variação do indicador nos perfis DSAS 7 a 10; C) Gráfico da variação analisada pelo método SCE no DSAS.	98
Figura 36. Registros de ondas da bóia ARGUS durante o período do evento 3; no eixo principal a direção média das ondas em graus e no eixo secundário altura das ondas em metros. Fonte: Marinha do Brasil.....	99
Figura 37. Registro dos efeitos da sobrelavagem das ondas através da duna frontal em direção as terras interiores. Barra da Lagoa, agosto/2012.	100
Figura 38. Variações da linha de costa no Camping da Barra o evento 3 obtidas em análises da linha de costa no DSAS, empregando o método NSM.....	101

Figura 39. Variação da posição da linha de costa (base da escarpa) em metros no evento 3 no Camping da Barra, A) Dados registrados antes e depois do evento, indicação dos perfis DSAS em 1, 9, 15 e 30; B) Detalhe da variação do indicador nos perfis DSAS 7 a 10, C) Gráfico da variação analisadas pelo método SCE no DSAS.	102
Figura 40. Registros de ondas da bóia ARGUS durante o período do evento 4; no eixo principal a direção média das ondas em graus e no eixo secundário altura das ondas em metros. Fonte: Marinha do Brasil.	103
Figura 41. Análise do NSM no evento 4, na Barra da Lagoa.....	104
Figura 42. Variação em metros do indicador da posição da linha de costa Base da escarpa no evento 4, no Camping da Barra, A) Dados registrados; B) Detalhe dados registrados; C) Variação da linha de costa calculada pelo SCE no DSAS.....	105
Figura 43. Registros de ondas da bóia ARGUS durante o período do evento 5; no eixo principal a direção média das ondas em graus e no eixo secundário altura das ondas em metros. Fonte: Marinha do Brasil.	106
Figura 44. Análise do resultado do NSM no evento 5, para a Barra da Lagoa.	108
Figura 45. Análise do resultado do NSM no evento 5, para Taquarinhas.	108
Figura 46. Indicador da variação em metros da posição da linha de costa - Base da escarpa no evento 5 monitorado no Camping da Barra, A) Dados registrados; B) Detalhe dados registrados; C) Variação da linha de costa.	109
Figura 47. Linha de costa de Taquarinhas - base escarpa no evento 5, A) Dados registrados; B) Detalhe dados registrados; C) Variação da linha de costa.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores dos volumes obtidos nos perfis com os diferentes métodos e respectivas diferenças.	56
Tabela 2. Pontos negativos e positivos dos métodos comparados.	59
Tabela 3. Rol das atividades de campo realizadas para identificação e registro da posição dos indicadores da linha de costa.	66
Tabela 4. Valores em metros obtidos no DSAS com aplicação do método SCE. Onde se apresenta x, indica inexistência do dado. (d.p.= desvio padrão).....	73
Tabela 5. Valores descritivos dos indicadores da posição da linha de costa analisados no SCE do DSAS representam a variação em metros das linhas de costa.	74
Tabela 6. Atividades de campo realizadas para obtenção de dados.	86
Tabela 7. Volumes (m^3/m) dos perfis nos levantamentos para o monitoramento do evento 1 e respectiva diferença verificada.	92
Tabela 8. Volumes (m^3/m) dos perfis no Camping da Barra no monitoramento do evento 2, com as respectivas diferenças..	96
Tabela 9. Volumes (m^3/m) dos perfis de Taquarinhas no monitoramento do evento 2, com as respectivas diferenças.....	96
Tabela 10. Volumes (m^3/m) dos perfis no Camping da Barra no monitoramento do evento 3, com as respectivas diferenças.	100
Tabela 11. Volumes (m^3/m) dos perfis na Barra da Lagoa no monitoramento do evento 4, com as respectivas diferenças.	104
Tabela 12. Volumes (m^3/m) dos perfis no Camping da Barra no monitoramento do evento 5, com as respectivas diferenças.	107
Tabela 13. Volumes (m^3/m) dos perfis de Taquarinhas no monitoramento do evento 5, com as respectivas diferenças.	107

LISTA DE EQUAÇÕES

- (1) Equação de cálculo do RMSE
- (2) Equação do nivelamento geométrico
- (3) Equação transformação de posição (x, y) em distância e cota

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos climáticos
DGPS- Diferencial (*Diferencial GPS*)
DSAS – Sistema de análise digital da linha de costa (*Digital Shoreline Analysis System*)
GNSS – Sistema de Satélites de Navegação Global (*Global Navigation Satellite System*)
GOOS – Sistema Global de Observação dos Oceanos (*Global Ocean Observing*)
GPS – Sistema de Posicionamento Global (*Global Position system*)
HWL - linha do alcance mais alto da água (*High Water Line*)
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LOC – Laboratório de Oceanografia Costeira
NSM – Movimento da linha de costa (*Net shoreline movement*)
PDOP– Diluição da precisão de posição (*Position dilution of precision*)
PERVE–Parque Estadual do Rio Vermelho
RN – Referencias de nível
RMSE - Erro médio quadrático dos erros (*Root Mean SquareError*)
RTK – Cinemático em tempo real (*Real Time Kinematic*)
SCE – Envelope de variação da linha de costa (*Shoreline Change Envelope*)
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS 2000 – Sistema Geocêntrico para as Américas
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UNESCO –Organização das Nações Unidas para a educação, ciência e cultura (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*)
WGS-84 – Sistema Geodésico Mundial-84 (*World Geodesic System-84*)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	30
1.2. OBJETIVOS	31
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i>	31
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	31
1.3. ÁREA DE ESTUDO.....	32
1.3.1. <i>Clima, Ondas e Maré de Tempestade</i>	34
1.3.2. <i>Barra da Lagoa</i>	35
1.3.3 <i>Taquarinhas</i>	37
2. TESTE METODOLÓGICO PARA DEFINIÇÃO DA LINHA DE COSTA E REGISTRO DA MORFOLOGIA.	39
2.1. NIVELAMENTO GEOMÉTRICO	40
2.2 GPS	43
2.3. COMPARAÇÕES COM GPS-RTK	47
2.3.1. <i>Teste de campo com os métodos DGPS e GPS-RTK</i>	48
2.3.2. <i>Teste de campo com GPS-RTK e Nivelamento geométrico</i>	52
2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS COMPARAÇÕES METODOLÓGICAS.	56
3. ANÁLISE DA VARIAÇÃO DOS INDICADORES DE POSIÇÃO DA LINHA DE COSTA EM ESCALA DE EVENTOS.	61
3.1 METODOLOGIA: REGISTRO E ANÁLISE DA POSIÇÃO DOS INDICADORES DA LINHA DE COSTA.....	66
3.2 VARIAÇÕES DOS INDICADORES DA POSIÇÃO DA LINHA DE COSTA.....	69
3.2.1 <i>Considerações sobre os indicadores da posição da linha de costa</i>	77
3.3 CONCLUSÕES SOBRE A VARIAÇÃO DOS INDICADORES DA POSIÇÃO DA LINHA DE COSTA.	84
4. EVOLUÇÃO COSTEIRA NA ESCALA DE EVENTOS.	85
4.1 METODOLOGIA DE ANÁLISE DA EVOLUÇÃO COSTEIRA NA ESCALA DE EVENTOS	86
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO COSTEIRA NA ESCALA DE EVENTOS	89
4.2.1 <i>Evento 1</i>	91
4.2.2 <i>Evento 2</i>	95
4.2.3 <i>Evento 3</i>	99
4.2.4 <i>Evento 4</i>	103
4.2.5 <i>Evento 5</i>	106
4.3 DESTAQUES DO MONITORAMENTO NA ESCALA DE EVENTOS	111

5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
6.	REFERÊNCIAS	117
7.	APENDICE A – PERFIS TRANSVERSAIS - EVENTO 1	129
8.	APENDICE B – PERFIS TRANSVERSAIS - EVENTO 2	131
9.	APENDICE C – PERFIS TRANSVERSAIS - EVENTO 3	135
10.	APENDICE D – PERFIS TRANSVERSAIS - EVENTO 4	137
11.	APENDICE E – PERFIS TRANSVERSAIS - EVENTO 5.....	139
12.	APÊNDICE F – NSM CAMPING DA BARRA	143
13.	APÊNDICE G - NSM TAQUARINHAS	145
14.	APÊNDICE H – GRÁFICO NSM	147
15.	APÊNDICE I – VOLUMES CAMPING DA BARRA	149
16.	APÊNDICE J – VOLUMES TAQUARINHAS	151

1. INTRODUÇÃO

A linha de costa pode ser simplesmente definida como a linha que coincide com a interface física entre a terra e a água (DOLAN et al., 1980 apud BOAK; TURNER, 2005, p. 689). Porém, esta simplicidade acaba quando se tenta colocar em prática a definição (BOAK; TURNER, 2005). Isto ocorre, pois é constante a interação entre os sólidos e os fluidos que caracterizam a dinâmica dos ambientes costeiros, e estes estão entre os mais mutáveis da superfície da Terra (CARTER, 1988).

Segundo King (1972) as praias representam os ambientes que mais sofrem mudanças nos seus aspectos morfossedimentares. Short (1999) destacou que as praias estão entre os ambientes de maior dinâmica física da superfície do planeta e ocorrem em toda costa onde existam sedimentos suficientes para as ondas os depositarem acima do nível do mar. Então, onde a linha de costa coincide com um pacote sedimentar inconsolidado composto de areias ou seixos, formam-se as praias (SHORT, 1999). O termo linha de costa foi encontrado em utilização sempre para ambientes praias. A determinação da posição da linha de costa pode ser realizada de diversas maneiras, porém em todas é necessária a utilização de algum indicador.

A praia é uma faixa que compreende a porção entre os limites aéreo e submerso do sistema praia-duna. É possível afirmar que diversas linhas de costa a compõe, pois para cada indicador pode-se gerar uma linha de costa específica. Isto envolverá conceitos e definições sobre praia e também algumas determinações conforme características locais de cada trabalho. Assim, uma visão mais abrangente da linha de costa pode levar à compreensão do significado de orla costeira ou apenas orla. Segundo Muehe (2001) orla é a faixa onde ocorre o contato da terra com o mar e onde as resultantes dos processos costeiros são sentidas de forma mais acentuada e crítica. Alterar a configuração da linha de costa poderá impor características negativas à praia, tanto ambientais, quanto estéticas e de acessibilidade.

É importante considerar a linha de costa como algo unidimensional, que não possui espessura e tão pouco diâmetro, apenas indica o contorno de determinado indicador de sua posição (OERTEL, 2005). A linha de costa não sofre erosão ou deposição, está apenas sujeita às mudanças em sua localização (OERTEL, 2005).

Para realizar análises da linha de costa é preciso definir os conceitos adotados, em especial dos indicadores da posição. O presente trabalho considera a praia como uma faixa que representa a interface

entre o oceano e as terras emersas. Esta faixa contém diferentes linhas de costa que podem ser limitadas nos diversos indicadores presentes. Os indicadores podem ser feições geomorfológicas resultantes da dinâmica praial, como a base da escarpa, ou feições discerníveis visualmente, como a linha do espraiamento. As feições antrópicas como enrocamentos, muros, calçadas ou outros elementos construídos pelo homem também podem ser utilizados como indicadores (BOAK; TURNER, 2005).

As praias arenosas são utilizadas para diversos fins, com destaque naqueles de natureza recreacional e turística (KOMAR, 1998; MILLER; HADLEY, 2005). A crescente demanda por tais usos nos municípios litorâneos induz muitas vezes a um desenvolvimento sem planejamento, desconsiderando a natureza móvel e dinâmica da linha de costa (KING, 1972). Muitas vezes os efeitos erosivos, que em praias arenosas podem causar grandes prejuízos, são desconsiderados, o que compromete tanto bens materiais como o valor paisagístico.

A pressão antrópica na zona costeira especialmente sobre a faixa que compreende os sistemas praia-duna é refletida em mudanças da posição da linha de costa. O que “torna imprescindível a compreensão dos processos dinâmicos ali atuantes em diversas escalas de tempo e espaço” (ESTEVES, 2004). Villwock et al. (2005) destacam que “Os efeitos danosos da atuação do homem são perfeitamente previsíveis e podem ser minorados”. Isto exige o aprimoramento constante das técnicas visando obter os melhores resultados e, concomitantemente, a melhor relação custo-benefício do processo de aquisição e interpretação dos dados. Para tanto torna-se necessário comparar diferentes tecnologias de aquisição de dados visando obter informações que permitam uma discussão sobre as técnicas aplicadas no monitoramento da linha de costa.

Devido à grande dinâmica da linha de costa os cientistas costeiros têm utilizado “indicadores” como recurso para tentar representar a posição dessa linha. Segundo Boak e Turner (2005) em sua revisão bibliográfica sobre o tema, a definição dos indicadores da posição da linha de costa empregados em determinado trabalho compõe uma importante atividade prévia aos registros das posições. Estes autores descreveram os pontos fortes e as limitações de quarenta e cinco diferentes indicadores utilizados em metodologias de aquisição da posição da linha de costa, sendo estes divididos em dois grupos: 1) relacionados com o nível de água e 2) as feições costeiras discerníveis visualmente. Os indicadores do primeiro grupo estão localizados onde o perfil de praia interage com a variação da maré e o espraiamento das

ondas. Já o segundo grupo pode ser subdividido em três subgrupos: a) indicadores alinhados em estruturas construídas pelo homem (ex. enrocamentos, molhes); b) feições morfológicas indicadoras (ex. escarpa); c) indicadores referentes à posição da linha d'água (ex. linha seca-molhada, espraiamento).

Conforme Boak e Turner (2005), ao definir um indicador da posição da linha de costa, este deverá ser assumido como a representação verdadeira desta. A escolha do indicador deve ser coerente com as escalas adotadas na pesquisa. A qualidade de detecção da linha de costa está relacionada com as feições indicadoras, as técnicas de registro empregadas, do discernimento do operador ao identificar o indicador e dos objetivos propostos ao trabalho. Na definição de qual indicador utilizar em determinado monitoramento costeiro, devem ser consideradas características como continuidade da ocorrência e a possibilidade de uma boa visualização do indicador na praia. Stockdon et al. (2002) afirmam que a identificação da linha de costa envolve dois estágios; o primeiro requer a seleção e a definição do indicador que será o representante da linha de costa e o segundo envolve a detecção do indicador escolhido.

Em áreas costeiras onde a variação dos níveis das marés são pequenas e caracterizam o regime de micro-maré, as ondas podem ser consideradas o principal agente das mudanças morfológicas e do transporte sedimentar (COOPER, 2005). Acarretando, assim, maior peso na relevância do clima de ondas sobre a evolução costeira, sem contudo descartar a importância das micro-marés nos processos costeiros. Assim, como a influência das marés de tempestade, que, segundo Campos, Camargo e Harari (2010) podem impor a sobre-elevação do nível do mar por períodos de alguns dias e atuação ao longo de centenas de quilômetros.

Considerando as idéias de Stockdon et al. (2002) que chamam a atenção para as incertezas por conta da subjetividade nas estimativas envolvidas nas análises da linha de costa. Deve-se considerar a dependência da interpretação humana no discernimento das feições indicadoras da posição da linha de costa. Isto sugere a possibilidade de algumas representações não refletirem a exata posição dessas linhas, gerando então resultados imprecisos. Diferentes métodos de monitoramento dos indicadores da linha de costa exigem perícia de quem opera a detecção, pois a subjetividade estará presente na interpretação visual do ambiente praiial.

A linha de costa deve ser considerada tanto em escala espacial como temporal (figura 1) e para determinar sua posição, devem ser

verificadas as variações ao longo do ambiente praial. A definição do método de detecção da linha de costa varia de acordo com as escalas de análise propostas, da qualidade das fontes de dados disponíveis e, principalmente, conforme as definições teóricas adotadas no estudo (BOAK; TURNER, 2005).

Rudorff e Bonetti (2010) fizeram referência a pesquisas realizadas na Ilha de Santa Catarina sobre processos erosivos de longo termo, para ressaltar a necessidade de abordagens empregando escalas temporais menores, que permitam observar processos erosivos específicos que ocorrem durante as tempestades. Destacaram ainda que, poucos os estudos que investigam a ação conjunta das ondas, correntes e marés na erosão de praia e duna contígua.

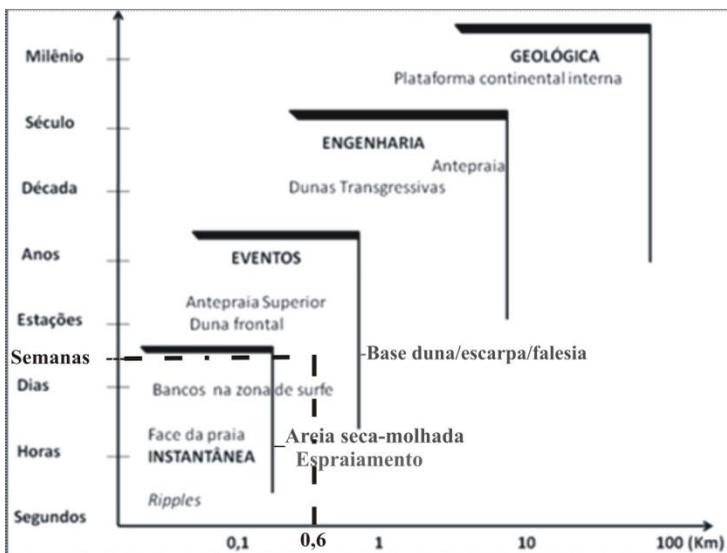


Figura 1. Escala espaço temporal para processos de evolução costeira proposta por Cowell e Thom (1994).

A linha de costa não é uma feição, mas um limite, que pode ser estabelecido utilizando os diferentes indicadores que se destacam ao longo da praia (OERTEL, 2005). Esses indicadores modificam sua posição conforme ocorrem as variações morfológicas, que podem ocorrer em intervalos de tempo relativamente curtos (KING, 1972).

É importante entender que as praias representam um dos ambientes que mais sofrem mudanças morfológicas (KING, 1972) em diferentes escalas temporais (COWELL; THOM, 1994), desde a

geológica até instantânea. Dentre estas escalas a instantânea e a de eventos devem ser consideradas nas análises da posição da linha de costa.

A incidência de ondas sobre praias arenosas causa modificações na morfologia costeira e na posição da linha de costa. Conforme as características das ondas e marés as modificações impostas à linha de costa podem ser bruscas. Quando combinadas ondas e marés os efeitos erosivos são intensificados (TESSLER; GOYA, 2005). Assim, as modificações morfológicas são intensificadas pela ocorrência de maré meteorológica positiva. Em Santa Catarina as marés meteorológicas ocorrem quando fortes ventos sopram de sudeste para noroeste (do mar para a terra), o que aumenta a diferença entre a maré prevista e a maré registrada (CARVALHO et al., 1996).

Esta situação pode gerar um evento extremo, que é o resultado de fenômenos atmosféricos intensos que transferem através do vento energia suficientes para gerar no oceano ondas com alturas elevadas e pouco comuns. Foi considerado evento extremo quando a previsão oceânica anunciava ondas maiores que três metros de altura significativa junto a costa, deflagrando as atividades de campo conforme o estabelecido no manual de monitoramento do projeto da rede de riscos costeiros. No sul do Brasil as ondas mais comuns são provenientes do sul, sudeste e leste (ARAÚJO et al., 2003). Em geral esses fenômenos estão associados à ocorrência de frentes frias ou ciclones extratropicais (ARAÚJO et al., 2003; KRUEGUER, 2011).

O monitoramento em campo da morfologia costeira utiliza técnicas de topografia para obter os registros da superfície da praia. Através da repetição dos levantamentos ao longo do tempo se obtém dados para análise do comportamento geomorfológico do local. Estudos que investigam a morfologia em praias arenosas adotam perfis transversais à praia.

Independente da metodologia aplicada, as informações obtidas com os perfis apresentam aspectos que evidenciam determinadas situações, como erosão intensa, ou deposição. Contudo, é importante reconhecer que os perfis transversais podem sofrer a influência dos elementos físicos próximos, como descargas pluviiais, drenagem urbana ou correntes de retorno que modificam o comportamento morfológico da praia (BOAK; TURNER, 2005).

Os registros das informações dos perfis podem ser realizados através de diversos métodos. O nivelamento geométrico foi difundido por Emery (1961). Os princípios desse método foram apropriados e modificados em diversos trabalhos que fundamentam estudos de

geomorfologia costeira (BIRKMEIER, 1981; WRIGTH; SHORT, 1984). Entretanto, os avanços tecnológicos permitiram o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais modernos. Atualmente se destacam os equipamentos de rastreamento orbital do sinal do sistema de posicionamento global (GPS). Métodos que utilizam o sistema GPS têm sido empregados com sucesso em estudos de geomorfologia costeira (ESTEVES, 2004; BAPTISTA et al., 2008; ROCHA; ARAÚJO; MENDONÇA, 2008; 2009; 2010).

Conforme surgem novas tecnologias de aquisição de dados topográficos, surgem novas possibilidades metodológicas que devem ser testadas. Os métodos *Diferencial Global Position System* (DGPS) e o método de posicionamento relativo cinemático em tempo real (GPS-RTK) são comparados neste trabalho e serão indicados no texto por suas siglas. A realização das comparações buscou analisar as particularidades das operações em campo e, ainda, testar a equivalência dos resultados.

Foi analisada a viabilidade do uso de diferentes indicadores da posição da linha de costa em monitoramentos na escala de eventos, sendo identificado o indicador da posição da linha de costa mais estável. Discutiu-se também sobre a mobilidade dos indicadores mais utilizados em interpretações de imagens aéreas (fotografias aéreas e imagens de satélite). As presentes análises se abstiveram de registrar e discutir o nível do mar nas variações instantâneas associadas a marés e ondas.

Sendo assim, foram elaboradas as seguintes perguntas norteadoras para este trabalho: Qual dos métodos de monitoramento da linha de costa apresenta resultados mais adequados ao monitoramento proposto? Qual dos indicadores de linha de costa tem a capacidade de representar fielmente as variações da linha de costa na escala de eventos? Qual o comportamento da posição da linha de costa durante o estudo?

1.1 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, dispostos na seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução ao tema proposto, o presente tópico e, na sequência, os objetivos e área de estudo.

Os capítulos seguintes visam atender aos objetivos específicos do trabalho e responder às perguntas levantadas, sendo que para cada objetivo específico há um capítulo, o qual apresenta introdução para

revisão do tema específico, a descrição da metodologia adotada, os resultados obtidos e as discussões dos resultados.

Assim, o capítulo 2 apresenta a comparação entre os métodos empregados para obter dados topográficos em monitoramentos costeiros.

No capítulo 3 são apresentados os indicadores da posição da linha de costa utilizados em monitoramentos, os quais são testados e discutidos, focando o uso em análises da posição da linha de costa.

No capítulo 4 são discutidas as variações da linha de costa registradas na escala de eventos, em busca de indicações do comportamento da evolução costeira nessa escala.

O capítulo 5 é dedicado às considerações finais e, na sequência, estão apresentadas as referências bibliográficas. No final do trabalho seguem Apêndices com os gráficos dos perfis transversais.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar métodos de estudo e indicadores da mobilidade da posição da linha de costa aplicados em investigação geomorfológica na escala de eventos, para praias com diferentes características ou estágios morfodinâmicos (intermediária e reflectiva).

1.2.2. Objetivos Específicos

Comparar diferentes métodos de monitoramento da posição da linha de costa e levantamento topográfico de perfil praiial;

Analisar a utilização dos diferentes indicadores da posição da linha de costa em monitoramento da evolução costeira;

Descrever o comportamento geomorfológico do pós-praia registrado na escala de eventos.

1.3. ÁREA DE ESTUDO

As praias da Barra da Lagoa em Florianópolis – SC (figura 2C) e de Taquarinhas no Município de Balneário Camboriú – SC (figura 2D), apresentam características físicas bastante distintas entre si, apesar da semelhança nos depósitos marinho praias que originam essas praias. A Barra da Lagoa assim como outras as praias da Ilha de Santa Catarina são depósitos marinho praias formados por um cordão externo de idade holocênica e um cordão interno formado no pleistoceno, origem muito semelhante a da praia de Taquarinhas (CARUSO JR., 1993; CARUSO JR. et al., 2000; PETERMANN, 2005). Nessas praias o cordão interno pode recobrir depósitos paludiais com sedimentos turfáceos e ser recoberto por depósitos eólicos (CARUSO JR., 1993).

No litoral de Santa Catarina os morros costeiros estão bastante presentes. São maciços rochosos que compõem o embasamento cristalino formado no Pré-Cambriano e no Eo-Paleozóico (CARUSO JR., 1993; GRÉ, 1983). Na geomorfologia das proximidades das áreas de estudo destacam-se dois grandes compartimentos, os maciços formando os morros e os depósitos sedimentares que formam a planície costeira.

Segundo Scheibe (1986), movimentações geológicas são responsáveis pelo recorte do litoral catarinense e pelas diversas ilhas existentes. Sendo que a própria Ilha de Santa Catarina é o produto da união de ilhas menores pela sedimentação que origina a planície costeira. Este processo também formou as diversas praias arenosas que se encaixam entre os promontórios do litoral catarinense.

Quando há incidência de eventos extremos que provocam erosão nas praias, camadas distintas podem aflorar. Junto a linha de costa no Camping da Barra pode ser observado uma camada de turfa que fica exposta quando há ação de ondas.

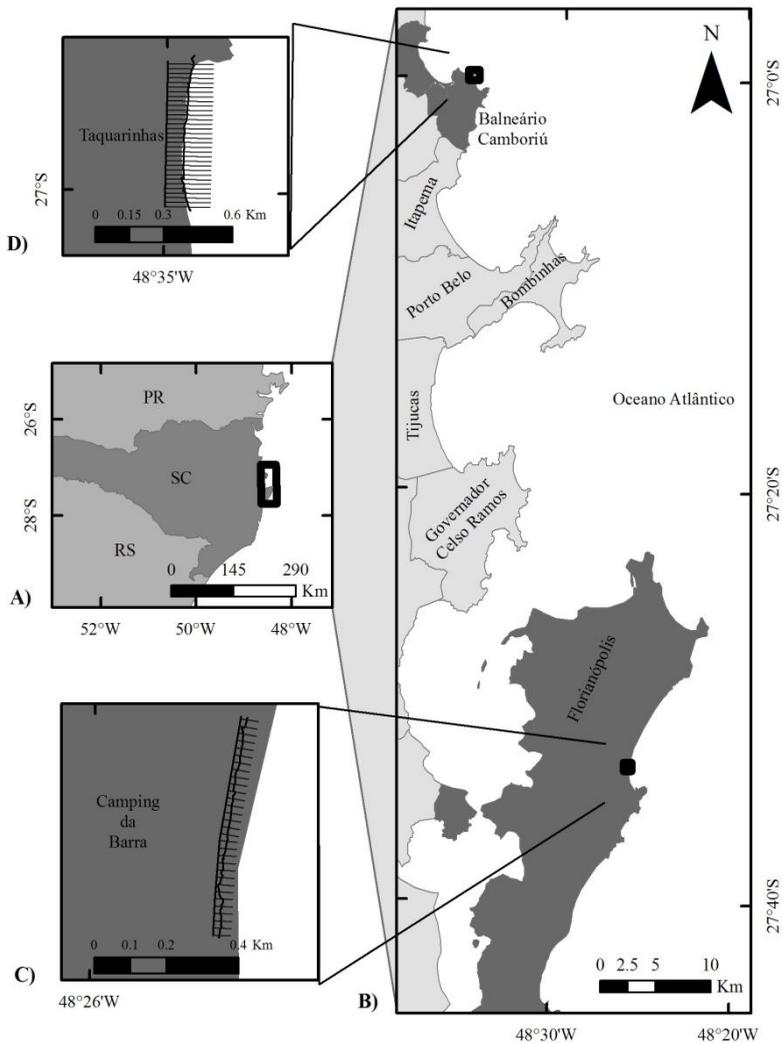


Figura 2. Localização da área de estudo. A) Litoral catarinense, B) Indicação das áreas de estudo; C) Perfis no Camping da Barra; D) Perfis em Taquarinhas. Fonte: Base cartográfica SPU, IPUF, Projeção Universal Transversa de Mercator, Datum WGS/84.

1.3.1. Clima, Ondas e Maré de Tempestade

O Litoral de Santa Catarina está situado em um domínio de clima temperado com estações bem definidas. As massas de ar mais representativas na área de estudo são Massa Tropical Atlântica (mTa) e a Massa Polar Atlântica (mPa) (NIMER, 1989). De acordo com Herrmann (2006) existem adversidades climáticas em Santa Catarina, porém são mal distribuídas e ocorrem de forma desigual nas dimensões espacial e temporal.

A grande dinâmica climática segundo Cardoso (2011) ocorre em função da localização geográfica do Estado catarinense, que é afetado frequentemente por fenômenos de tempo severo como tempestades, vendavais, inundações e ressacas. O aumento na agitação marítima é resultante da atuação de sistemas frontais, ciclones extratropicais e vórtices ciclônicos gerados na atuação das massas Tropicais (mTa) e Polares (mPa).

As ondas mais frequentes na Ilha de Santa Catarina são provenientes do sul com período de doze segundos, seguidas pelas vagas de leste com período de oito segundos. As ondas com as maiores alturas são provenientes do sul e sudeste. Foram registradas em águas profundas ondas com altura significativa de até seis metros e altura máxima de treze metros (ARAÚJO et al., 2003).

Existem cinco sistemas diferentes de ondas que, combinados apresentam espectro multimodal (ARAÚJO et al., 2003): 1) o primeiro sistema representa a condição estável do Anticiclone do Atlântico Sul; 2) dois sistemas de ondulação provenientes de SE, um gerando ondas longe da costa e outro gerando ondas mais próximas; 3) dois sistemas estão relacionados com a passagem de frentes frias, um no pré-frontal e outro na fase pós-frontal, relacionados com o vento nordeste e sul, respectivamente.

Franco e Melo Filho (2008), ao estudar o regime de ondas ao largo da Ilha de Santa Catarina, identificaram o inverno como a estação com maior média de agitação marítima, seguida pela primavera, ficando o verão como a estação com menor média de agitação marítima. As ondulações com períodos maiores que quinze segundos têm ocorrência máxima no outono, embora possam ocorrer em todas as épocas do ano. Segundo Rudorff, Bonetti e Moreno (2006) e Krueger (2011) o mês de maio apresenta maior ocorrência de eventos de grande agitação marítima.

O regime de marés no Estado de Santa Catarina é do tipo de micro-maré, com regime semi-diurno, podendo ser influenciado pelas marés meteorológicas. Quando positivas que podem intensificar os efeitos da ação das ondas sobre a costa, pois elevam o nível do mar devido aos ventos fortes, principalmente do sul, que causam empilhamento das águas costeiras (CARVALHO et al., 1996; CRUZ, 1998). Estudo de Marone e Camargo (1994) ressalta que as marés de tempestade no sul do Brasil são formadas pela combinação de centros de alta e baixa pressão, que resultam em uma pista de vento sul sobre o oceano que, somada a componente leste do efeito de Coriolis, tende a ocasionar empilhamento de água sobre a costa.

Conforme Rudorff, Bonetti e Moreno (2006) a maré de tempestade é a inundação costeira causada por uma sobre-eleva o do nível do mar popularmente conhecida como “ressaca”, e essas marés têm causado s rios prejuízos e transtornos no litoral de Santa Catarina. Krueguer (2011) ao compilar dados sobre ressacas verificou que em média ocorreram seis eventos extremos por ano para a primeira década do século XXI no litoral catarinense, e indicou que as áreas mais atingidas são onde a orla tem ocupa o mais intensa.

Em Santa Catarina os municípios mais vulneráveis às marés de tempestade, além de Florianópolis, estão localizados no litoral norte do estado. Por consequência,   onde mais se percebe a atua o desses fen menos, sendo que em alguns episódios os municípios atingidos necessitam decretar situa o de emergência. Um dos registros identificados por Rudorff; Bonetti; Moreno (2006) ocorreu em 2010 na Ilha de Santa Catarina, em que foram registradas setenta casas danificadas e vinte e uma pessoas desalojadas.

1.3.2. Barra da Lagoa

A Barra da Lagoa está localizada no extremo sul e mais abrigado da enseada formada no arco praiado Moçambique-Barra da Lagoa. No presente estudo os trabalhos se concentraram principalmente num pequeno trecho da praia na porão norte da Barra da Lagoa, que   denominado localmente de Camping da Barra (figura 3).

Trata-se de um trecho da praia com aproximadamente seiscentos metros de extensão onde se concentraram parte dos trabalhos de campo. O Parque Estadual do Rio Vermelho (PERVE)   limitrofe a este trecho de praia, o que concede a área uma boa manuten o do aspecto natural. Contudo, apesar da aparente conserva o, destaca-se a

ocorrência de sedimentos turfáceos expostos junto à linha de costa no Camping da Barra, evidenciando processos erosivos.

Estudos de Miot da Silva (2006) e Leal (1999) aplicaram a classificação morfodinâmica direta (SHORT, 1999; WRIGTH; SHORT, 1984; SHORT; WRIGTH, 1983) ao longo da enseada e apontam alguns parâmetros para o trecho do Camping da Barra, os quais caracterizam os vários estágios de praia intermediária.

Os estudos realizados por Miot da Silva (2006) na praia de Moçambique apresentaram resultados semelhantes aos de Leal (1999), com algumas distinções. Especificamente o estado morfodinâmico da porção central que, segundo Leal (1999) se apresentou como reflectivo, enquanto os resultados de Miot da Silva (2006) apontaram uma classificação intermediária com terraço de maré baixa (*low tide terrace*).



Figura 3. Vista aérea do Camping da Barra, área vegetada já pertencente ao PERVE e ao fundo a lagoa da Conceição. Imagem: Raphael Ribeiro-Projeto MMA-Rede de Riscos Costeiros e CNPQ 400302/2012-8.

Ao analisar de forma indireta o estágio morfodinâmico da praia de Moçambique Silveira (2008) e Silveira, Klein e Tessler (2011) classificaram-na como praia intermediária com a presença de um banco rítmico, ocorrendo dois bancos em alguns pontos.

As análises sedimentológicas apresentaram os tamanhos médios dos grãos onde se verificou a deposição de areia fina nos extremos da praia e de grãos mais grossos (areia média à grossa) na porção central que é mais exposta as ondas (LEAL, 1999; MIOT DA SILVA, KLEIN, ALMEIDA, 2004; MIOT DA SILVA, 2006; HORN FILHO, 2006). A

porção sul da enseada tem a menor energia de onda, a menor declividade, a granulometria caracterizada como areias finas muito bem selecionadas, o estágio morfodinâmico intermediário com características refletiva na maré alta e dissipativa na maré baixa (LEAL, 1999).

Miot da Silva (2006) indicou um grau de seleção dos grãos de moderado a muito bem selecionados e, ainda, a praia em uma situação de equilíbrio dinâmico. Há, conforme destacaram Leal (1999) e Miot da Silva (2006), grande presença de biodétritos no pacote sedimentar, indicando relação com ocorrências de grandes energias de ondas, em especial na porção central da praia. Distintos tamanhos de grão foram observados nos mesmos setores em diferentes estudos, conforme pode ser observado nos trabalhos de Leal (1999) e Miot da Silva (2006).

Entretanto, conforme sugeriram Miot da Silva, Klein e Almeida (2004), não há relação direta entre tamanho de grão e energia das ondas para a enseada da praia do Moçambique, assim como para outras praias de enseada em equilíbrio dinâmico.

1.3.3 Taquarinhas

A praia de Taquarinhas (figura 4) está localizada no litoral centro norte do Estado de Santa Catarina. É uma praia do tipo reflectiva, orientada no sentido norte-sul, exposta à ação das ondas (MENEZES; KLEIN, 1997; SILVEIRA, KLEIN, TESSLER, 2011). Trata-se de uma praia com características naturais bastante preservadas (figura 4). As areias da praia de Taquarinhas apresentam granulometria entre grossa a muito grossa (KLEIN, BENEDET FILHO, SCHUMACHER, 2002; KLEIN, MENEZES, 2001; MENEZES, 1999). Trata-se de um depósito marinho praias com idade holocênica conforme apresentado no mapa elaborado por Petermann (2005).

A praia de Taquarinhas foi considerada juntamente com a praia de Taquaras como uma única enseada nas análises realizadas por Benedet (2000) e Klein; Benedet Filho e Schumacher (2002), os quais verificaram a ocorrência de processos de rotação praias na enseada, e apontaram as ondas provenientes do sudeste como as mais representativas na definição da forma em planta.



Figura 4. Vista panorâmica da praia de Taquarinhas - município de Balneário Camboriú - SC. Imagem: Raphael Ribeiro-Projeto MMA-Rede de Riscos Costeiros e CNPQ 400302/2012-8.

2. TESTE METODOLÓGICO PARA DEFINIÇÃO DA LINHA DE COSTA E REGISTRO DA MORFOLOGIA.

Os estudos sobre praias arenosas têm evoluído em suas técnicas. Conforme surgem novas tecnologias as possibilidades metodológicas se multiplicam e necessitam que testes independentes comprovem a possibilidade de emprego dessas inovações em estudos costeiros. Neste sentido, o presente capítulo analisa a utilização de diferentes metodologias empregadas no monitoramento da evolução da posição da linha de costa e da morfologia praial, a fim de verificar se o posicionamento relativo estático rápido realizado com GPS-RTK pode substituir com precisão o método de nivelamento geométrico em perfis transversais a praia, e ainda se o posicionamento relativo cinemático para registro da linha de costa realizado com DGPS pode substituir o posicionamento relativo cinemático realizado com GPS-RTK.

Para Boak e Turner (2005) o conceito específico da linha de costa geralmente é menos importante do que a capacidade de detectar e quantificar a variação da posição dessa linha. Assim Short (1999) destaca que o monitoramento praial com perfis transversais é um método simples que permite verificar as variações morfológicas da praia através do registro do volume do perfil, largura e inclinação da praia, além de permitir a representação gráfica bidimensional das feições da praia. Considerando o acima exposto, foram realizadas comparações entre diferentes métodos de monitoramento em praias arenosas.

Uma proposta metodológica para monitoramento de perfis de praia foi desenvolvida por Emery (1961), que utilizava o nível do horizonte e o alinhamento de duas hastas unidas por um cabo de 1,5m para realizar o nivelamento geométrico. Foi um método muito divulgado pois, apesar das limitações, o baixo custo, difundiu os levantamentos de perfis de praia utilizando nivelamento.

O nivelamento geométrico é um método bastante difundido em estudos de morfologia de praias, muitos trabalhos fizeram uso de metodologias de nivelamento geométrico para obtenção dos registros de perfis transversais à linha de costa (EMERY, 1961; BIRKMEIER, 1981; CALLIARI; KLEIN, 1993; KLEIN; MENEZES, 2001; KLEIN, 2004; MUEHE, 2004; OLIVEIRA, 2004; SCHWEITZER, 2007).

Com a evolução das técnicas estudos costeiros passaram a utilizar perfis transversais empregando diferentes metodologias de nivelamento. Mais recentemente técnicas utilizando o rastreamento orbital do sinal GPS vêm sendo empregadas em estudos e monitoramentos em praias arenosas (ESTEVEVES, 2004; ROCHA; ARAÚJO; MENDONÇA,

2008; 2009; 2010; BAPTISTA et al., 2008; 2011; SCHWEITZER; KLEIN, 2012).

Conforme Albuquerque (2008) a escolha do equipamento e do método de levantamento são determinantes na qualidade dos resultados. Monico (2008) destaca ser necessário que o usuário tenha a clara idéia de qual é a aplicação que se objetiva e qual a precisão desejada. A escolha do método dependerá em muitos casos da disponibilidade e do custo de operação dos equipamentos.

Sendo assim esta avaliação entre os métodos RTK-GPS e DGPS busca conhecer as possibilidades e particularidades de operações de campo. Incluindo a verificação da compatibilidade entre levantamentos de perfis transversais realizados com os métodos de nivelamento geométrico e de rasteio orbital do sinal GPS com GPS-RTK. Os sistemas que possuem soluções em tempo real (RTK) possibilitam a visualização quase instantânea da posição obtida, devidamente processada.

O GPS geodésico permite executar diversas técnicas de posicionamento, podendo dar preferência às precisões ou à velocidade de aquisição, conforme os objetivos de cada atividade. Pajak e Leatherman (2002) destacam que a disponibilidade dos sistemas GPS para uso civil revolucionaram as técnicas de levantamento de dados em campo. Atualmente alguns equipamentos GPS permitem grande agilidade em levantamentos com precisão e exatidão milimétricas em alguns minutos de operação.

2.1. NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Diversos métodos podem ser empregados no levantamento de perfis transversais, entre os quais o nivelamento geométrico, que permite determinar alturas relativas entre dois pontos. O nivelamento geométrico é um método bastante empregado em estudos de geomorfologia costeira. O nível óptico de precisão é um dos equipamentos que podem ser utilizados na realização do nivelamento geométrico em perfis transversais à praia.

Conforme a NBR 13133/1994 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994) o nivelamento geométrico é realizado pela tomada da medida da diferença de níveis do terreno à partir de uma visada horizontal, obtida por um nível e miras verticais distribuídas nos pontos de interesse. O nivelamento geométrico pode ser simples ou composto. Quando o desnível do terreno for superior à altura da mira, o

nivelamento será composto (figura 5), o que exige mais de uma estação de nível, levando a decompor os trechos a nivelar em mais de uma visada (ESPARTEL, 1973).

O nivelamento geométrico quando realizado em praias arenosas tomará medidas bastante próximas entre si, diferente dos levantamentos para fins de agrimensura que utilizam visadas de até 80 metros. A representação do relevo praiar toma medidas muito menores, a fim de representar os detalhes da morfologia da praia, diminuindo as imprecisões associadas a longas visadas.

A cota de um ponto é a diferença entre o plano horizontal desse ponto e o plano horizontal da cota zero, que pode ser assumida como o nível do mar (BORGES, 1975). Contudo, deve ser destacado que, o nivelamento geométrico pode utilizar níveis em cotas relativas na realização dos trabalhos (ESPARTEL, 1973).

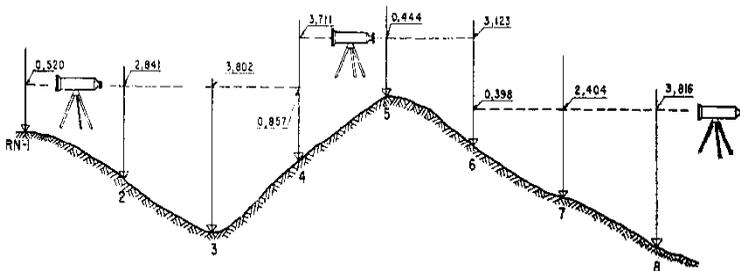


Figura 5. Esquema de nivelamento geométrico composto, visadas de ré a vante. Adaptado de Borges (1975).

O registro de perfis topográficos na praia tomados no mesmo local ao longo do tempo documentará as variações na posição da linha de costa, erosão ou deposição costeira, através das mudanças no volume da praia (MORANG; GORMAN, 2005). Ao analisar um perfil é interessante conhecer a posição deste sobre a planta da praia, e preferencialmente considerar as variações morfológicas nas escalas do tempo, evitando assim interpretações equivocadas. Conforme Boak e Turner (2005) isto pode acontecer quando o perfil estiver localizado sobre uma feição morfológica distinta e distorcer a posição da linha de costa.

A utilização do nivelamento geométrico para levantamento de perfil transversal à praia (figura 6) exige a implantação de pelo menos um ponto fixo que servirá de referência inicial. Esse ponto pode ser um referencial de nível ou mesmo um ponto de apoio topográfico. Além

disso, as medidas de nível devem estar sempre acima de um metro, especialmente em dias de sol. Assim evita-se que oscilações no ar devido a proximidade com o solo nas horas mais quentes do dia crie interferências nas leituras do nível (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).



Figura 6. Nível óptico de precisão utilizando no nivelamento geométrico de perfil de praia. Imagem: Alexandre Schweitzer.

Em monitoramentos de perfis de praia com nivelamento geométrico, o alinhamento de cada perfil deve possuir referenciais para garantir que os levantamentos futuros se repitam sempre sobre o mesmo local. O azimute é um bom referencial, em conjunto com uma bússola indicará a direção. Para alinhar o perfil um conjunto de balizas pode auxiliar na demarcação correta no momento das medidas. O método do nivelamento geométrico também requer a instalação de pontos de apoio topográfico para indicar início dos perfis. Na materialização desses pontos o posicionamento preciso é uma informação secundária.

Quanto à operacionalização dos levantamentos de campo, o método necessita de uma equipe com no mínimo duas pessoas capacitadas. Uma vez que é necessário a quem conduz a régua graduada ter, além da percepção das mudanças sutis do relevo da praia, a noção de manter a verticalidade da régua. Na tomada das medidas o operador do

nível óptico deve verificar as informações obtidas, realizando as operações matemáticas para conferência dos valores. Apesar do tempo envolvido nos cálculos das verificações estes visam a maior precisão do levantamento, pois, permite a repetição da leitura do ponto se necessário. O que evita ter que assumir suposições em gabinete, ou a invalidação dos trabalhos de campo.

O resultado de um nivelamento geométrico utilizando o nível óptico é a representação, com precisão milimétrica, dos pontos de destaque do relevo. A análise de um conjunto de levantamentos de um mesmo perfil transversal da praia indicará a variação morfológica, bem como o volume dos perfis e a posição dos indicadores da linha de costa. Essas informações permitem acompanhar a evolução dos processos geomorfológicos, sejam estes erosivos ou com deposição costeira.

Acompanhando a modernização das técnicas em topografia, quando novas tecnologias surgem podem ser validadas a partir de comparações com as técnicas mais tradicionais.

2.2 GPS

Sistemas de posicionamento por satélites cobrem praticamente toda a superfície da Terra. Foi o governo norte americano que efetivamente organizou e operacionalizou primeiro um *Global Navigation Satellite System* (GNSS) que resultou no atual Sistema de Posicionamento Global ou GPS (*Global Position System*). Este é funcional desde 1973. Inicialmente, possuía com caráter bélico e aos poucos foi disponibilizado para uso civil (MONICO, 2008).

As técnicas de posicionamento utilizando sistemas GNSS para obter soluções geodésicas, vêm sendo utilizadas desde 1983. Inicialmente o sistema foi denominado TRANSIT e utilizava o efeito *Doppler* para realizar as observações, que atingiam precisões na ordem de 200 metros (SEEBER, 2003; MONICO, 2008). O contínuo aprimoramento tecnológico levou o sistema a evoluir com o *NAVigation System with Time And Raging Global Positioning System* (NAVSTAR GPS). Trata-se de um sistema de navegação baseado em satélites que fornecem através de sinais de rádio, o posicionamento tridimensional preciso (SEEBER, 2003). Nos dias atuais pode-se utilizar o sistema GPS com elevada precisão e exatidão nominal que os fabricantes de receptores indicam alcançar resultados milimétricos com GPS-RTK.

Em posicionamentos empregando GPS é recomendado obter as posições já no sistema que será apresentado o trabalho final, evitando a

realização de conversões que podem inserir imprecisões e erros. Para cada região do planeta um datum local deve ser adotado para compatibilizar as coordenadas do GPS com as coordenadas do local (STEWART, 2005). O WGS-84 (*world geodetic system* de 1984) é o elipsóide de referência associado à rede GPS. A origem desse sistema de referência é o centro de massa da Terra, e trata-se de um modelo matemático do elipsóide de revolução geocêntrico (MONICO, 2008). A forma física real da superfície da Terra tem sua representação aproximada pela matemática no elipsóide de revolução (SEEBER, 2003).

No Brasil levantamentos com GPS devem ser apresentados no Sistema Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000) que desde 2005, é o sistema referencial geodésico oficial do país, conforme estabelecido no decreto nº 5334 (BRASIL, 2005). Considerando a informação divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012) o sistema SIRGAS2000 pode ser considerado coincidente com o WGS-84, para posicionamentos em território brasileiro.

Conforme Seeber (2003), o geóide pode ser entendido como a representação da superfície da Terra aplainada (figura 7). A indicação das alturas geoidais, tomadas no eixo z das coordenadas, é a medida da altura obtida pelo rastreamento orbital do sinal GPS e representa a diferença em metros entre o elipsóide WGS84 e o geóide (MONICO, 2008). Tais alturas junto ao nível do mar são bastante representativas, atingindo precisão milimétrica, enquanto que para locais elevados/altos os erros atingem metros (TORGE, 2001 apud SEEBER, 2003, p. 26). Todavia, a qualidade dessas medidas irá depender das técnicas GPS aplicadas na obtenção dos pontos.

Assim, posicionamentos utilizando sistema GPS podem apresentar diferentes precisões e exatidões, dependendo do equipamento e do método utilizado no rastreamento do sinal GPS. De acordo com Seeber (2003) e Monico (2008) podem ocorrer variações de trinta metros a menos de um (1) milímetro. O posicionamento relativo utilizando o rastreamento orbital do sinal GPS com correção em tempo real (GPS-RTK) é um método geodésico moderno, diferente do DGPS que necessita receber as informações de uma estação de referência para realizar o pós-processamento. Ambos, são equipamentos que possuem bases de correção diferencial (SEEBER, 2003).

O posicionamento por DGPS é, muitas vezes confundido com o posicionamento relativo. O DGPS é um método de posicionamento que aplica nas posições observadas correções estimadas em uma estação-base, para aprimorar as coordenadas ou pseudodistâncias (MONICO,

2008). Esse processo pode ser realizado em gabinete, com auxílio de programa computacional específico para obtenção das informações estimadas pela estação-base para o período desejado, e processa as correções, ou ainda acoplando um receptor específico, que permite receber via rádio as informações da estação-base processando as correções diferenciais automaticamente.

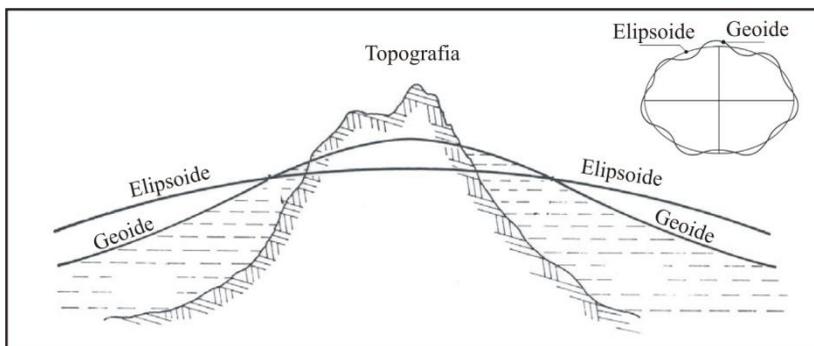


Figura 7. Relação entre topografia, geóide e elipsóide, adaptado de Seeber, 2003.

As características técnicas informadas no manual do fabricante do DGPS GeoExplorer TRIMBLE com antena externa, que foi o equipamento utilizado, indica a precisão nominal melhor que 20cm nos dados DGPS pós-processados. O tipo observável do sinal GPS, quando se utiliza método DGPS, é a portadora L1 e o código C/A, que pode atingir até um metro de precisão vertical e até 2 metros de precisão horizontal. Ao utilizar o GPS-RTK o sinal é observado em sua dupla frequência, obtendo as fases portadoras L1 e L2, o código P e o código C/A.

Assim o GPS-RTK atinge precisão milimétrica de um milímetro (1mm) na vertical e de seis milímetros (6 mm) na horizontal (SEEBER, 2003). Operando no método de posicionamento relativo cinemático o GPS-RTK pode atingir em segundos a ordem de poucos centímetros de precisão (MONICO, 2008). Enquanto no posicionamento relativo estático o GPS-RTK com linha de base de até dez quilômetros, atinge em minutos precisões entre 1 e 5 milímetros (MONICO, 2008).

Levantamentos que combinam observações do sinal GPS entre estações são denominados de posicionamento relativo ou diferencial. Todavia, o termo diferencial indica diferenças nas observáveis entre estações levantadas e conhecidas. No posicionamento relativo, uma das

estações possui coordenadas conhecidas. Ao observar as coordenadas no mesmo ponto o equipamento é capaz de realizar o processamento computacional das informações. Ao conhecer a diferença é possível corrigir os erros das coordenadas obtidas.

O processamento das correções podem ser realizadas em tempo real quando as estações possuem comunicação via rádio, e neste caso o método é denominado posicionamento relativo cinemático em tempo real que, nesse trabalho, é entendido por GPS-RTK. Quando o processamento é realizado posteriormente, trata-se do método de posicionamento relativo cinemático pós-processado.

O GPS-RTK é um dos métodos de posicionamento mais avançados no momento (MONICO, 2008). Trata-se de um sistema que agiliza tanto os trabalhos de campo, quanto o processamento de dados obtidos. A principal característica do GPS-RTK é a obtenção de posições com correção em tempo real atingindo grandes precisões, especialmente com uma linha de base curta. Os equipamentos GPS-RTK são de fácil manuseio e seus instrumentos são altamente integrados. É uma ferramenta que pode substituir levantamentos tradicionais (SEEBER, 2003).

Rocha, Araújo e Mendonça (2008; 2009; 2010) realizaram levantamentos de morfologia de praia com receptor GPS geodésico instalado sobre uma estrutura para transporte, semelhante a um carro de mão, a técnica foi denominada pelos autores de 3D-GPS. Na mesma linha, Baptista et al. (2011) aplicaram o sistema dupla antena, que é bem mais robusto e diminuiu os erros associados ao levantamento. Entretanto, esta técnica exigiu o auxílio de um veículo quadriciclo para transporte do receptor.

A realização do monitoramento praias utilizando o GPS-RTK requer pesquisa das monografias dos marcos geodésicos e dos referenciais de nível existentes no entorno. Portanto, é necessário realizar atividade de campo prévia para implementação dos pontos de apoio topográfico. Somente após a rede de apoio topográfico implementada podem ser iniciadas as atividades de levantamento utilizando o GPS-RTK. O posicionamento preciso desses pontos é uma atividade primordial no método do GPS-RTK, principalmente quando se pretende diminuir as linhas de base para permitir a conexão via rádio do sistema.

Quanto à operacionalização dos levantamentos de campo, o método necessita de uma equipe com no mínimo duas pessoas (figura 8). A operação do GPS-RTK requer um operador com treinamento e experiente e uma segunda pessoa que não necessita de treinamento

algum, pois esta segunda função será apenas de vigilante da estação base para garantir a imobilidade desta durante o trabalho.



Figura 8. Integrantes da equipe do Laboratório de Oceanografia Costeira - LOC (Carla D'Aquino e Guilherme Vieira) com o GPS-RTK nos molhes da Barra da Lagoa, junto ao referencial de nível CASAN 387. Fotografia: Diego Bitencourt.

2.3. COMPARAÇÕES COM GPS-RTK

Para as comparações entre as metodologias de monitoramento foram realizadas duas saídas a campo no Camping da Barra, para aplicação dos métodos e obtenção de dados da geomorfologia praial. A primeira atividade de campo foi realizada no dia 16 de junho de 2011, com o objetivo de comparar o desempenho entre posicionamento relativo cinemático no método GPS-RTK e o posicionamento diferencial cinemático no método DGPS. Na segunda saída, dia 19 de abril de 2012, a comparação foi realizada em levantamentos de perfis transversais à praia. A comparação envolveu o método de nivelamento geométrico com nível óptico de precisão e o rastreamento orbital do sinal GPS com o GPS-RTK no modo de posicionamento relativo estático rápido em tempo real.

2.3.1. Teste de campo com os métodos DGPS e GPS-RTK

O trabalho de campo consistiu no posicionamento cinemático com utilização simultânea dos métodos diferencial com DGPS (GeoXT – Trimble) e relativo com GPS-RTK (R6-Trimble) para o levantamento cinemático da posição da linha de costa (x,y) e altitude (z). Como indicador da linha de costa foi utilizada a base da escarpa. Os equipamentos foram configurados para obter um ponto a cada metro do deslocamento registrando as posições. O levantamento envolveu dois operadores no caminhamento, sendo um para cada equipamento. Estes se deslocaram mantendo uma distância de aproximadamente dois metros entre as antenas.

O experimento com aquisição de dados em dois métodos distintos que utilizam o sinal GPS, buscou comparar os resultados da utilização dos métodos e equipamentos em campo. Os registros com o DGPS consideraram somente as posições obtidas quando o valor da diluição da precisão de posição (PDOP), que indica a qualidade da geometria da constalação de satélites GPS, era menor que dois.

Os dados obtidos com o DGPS foram pós-processados utilizando as informações da estação base de Imbituba acessada através de programa computacional específico. Os resultados do pós-processamento foram organizados em planilhas eletrônicas para realização das análises estatísticas e espacialização dos resultados em Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Os dados do GPS-RTK foram exportados em formato de tabelas separadas por virgulas (.csv), o que viabilizou sua organização em planilhas eletrônicas e a inserção dos dados em SIG. Com as coordenadas dos pontos foi gerado então um arquivo de dados vetoriais o que permitiu realizar as análises espaciais dos resultados obtidos. Na análise dos dados foram elaborados gráficos de dispersão, onde é possível observar a diferença entre os valores obtidos nos diferentes métodos.

Após a análise exploratória preliminar e da dispersão, os dados foram padronizados para então, ser calculado o erro médio quadrático (*Root Mean Square Error* - RMSE) dos valores obtidos para x, y e z em cada método. O RMSE (equação 01) pode ser considerado como a medida da precisão em levantamentos de topografia e geodésia (SEEBER, 2003). O tratamento dos dados para obter o erro médio quadrático busca conhecer as diferenças entre os valores obtidos e estimados (REGUERO et al., 2012).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_d} \sum_{i=1}^{n_d} (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Os valores obtidos (x) foram considerados como as posições registradas com o GPS-RTK, e nos valores tidos como estimados (y), estão as posições rastreadas com o DGPS, indicando assim o quanto os valores do DGPS (y) diferem dos valores do GPS-RTK (x).

2.3.1.1. Resultados do teste com os métodos DGPS e GPS-RTK

Nos gráficos de dispersão é possível visualizar a comparação dos valores norte, leste e altura, obtidos nos métodos testados. A precisão dos resultados entre os valores para as coordenadas UTM norte (figura 9A) e UTM leste (figura 9B), foram satisfatórias. Já as medidas de altura apresentaram resultados muito distintos entre si (figura 9C).

O RMSE encontrado para UTM norte foi de 0,02, para UTM leste de 0,06 e para a altura de 1,4. A normalidade foi assumida por conta do elevado número de casos (n=291). A análise de correlação foi realizada para verificar se os registros obtidos pelo método DGPS seriam, de alguma forma, similar ou aproximados dos registros obtidos com o GPS-RTK. Os resultados mostram a correlação bastante alta com valor de 0,99 para os dados referentes a UTM norte (figura 10A). A alta correlação também foi verificada na análise dos registros da UTM leste (figura 10B), que resultou na correlação igual a um. Na análise da correlação dos valores de altura o resultado foi igual a zero (figura 10C). Fica registrado que foi obtido valor negativo muito próximo de zero (-0,03), indica não haver correlação evidente entre os valores.

Diferente dos resultados encontrados por Freitas et al. (2003) que ao comparar resultados de levantamentos com DGPS e com teodolito, indicaram as maiores diferenças na cota de 0,15m, e nas distâncias de 0,21m. Todavia a metodologia aplicada por Freitas et al.(2003) não foi a mesma utilizada no presente trabalho, o que explica os resultados muito diferentes.

Deve ser destacado que os resultados com boa correlação não indicam que os métodos registram valores iguais, mas que as variações ocorrem de forma similar. Ou seja, conforme uma variável aumenta ou diminui seu valor em uma série, ocorre variação semelhante em outra

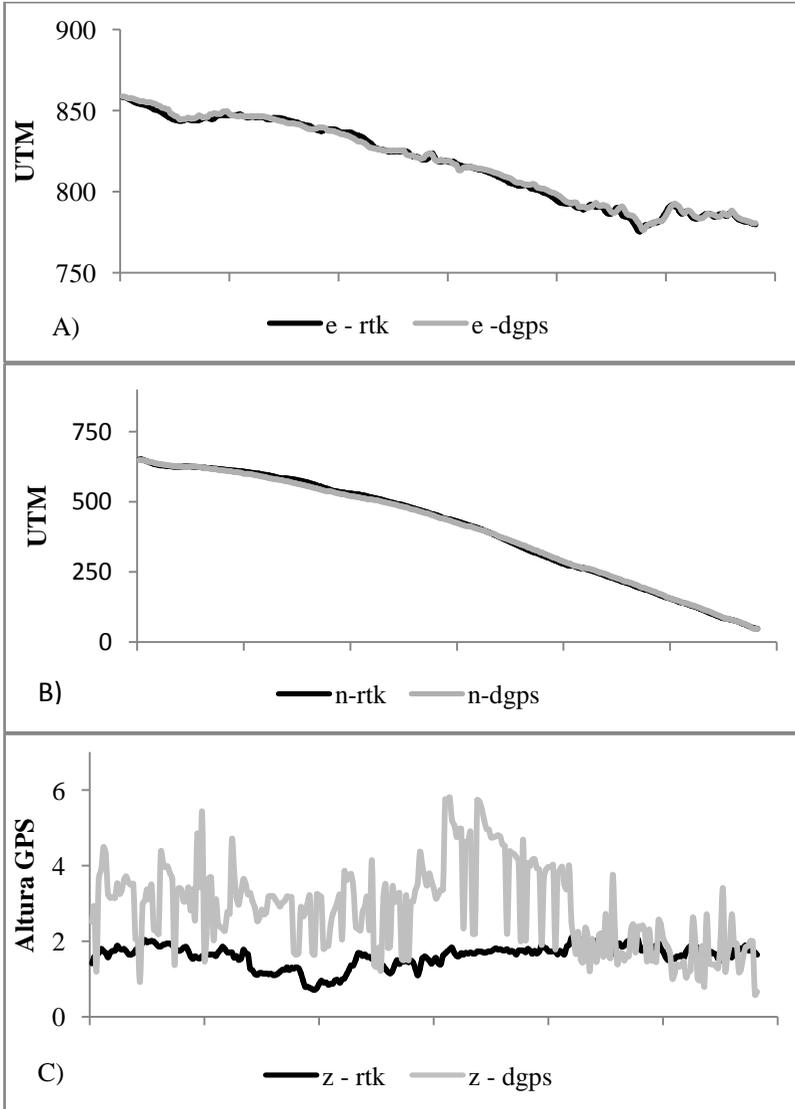


Figura 9. Análise estatística da dispersão dos valores UTM (A, B) e altura GPS (C). O eixo X apresenta os casos estatísticos da análise, no eixo Y os valores padronizados em: A) UTM norte, B) UTM leste, C) Altura GPS em metros.

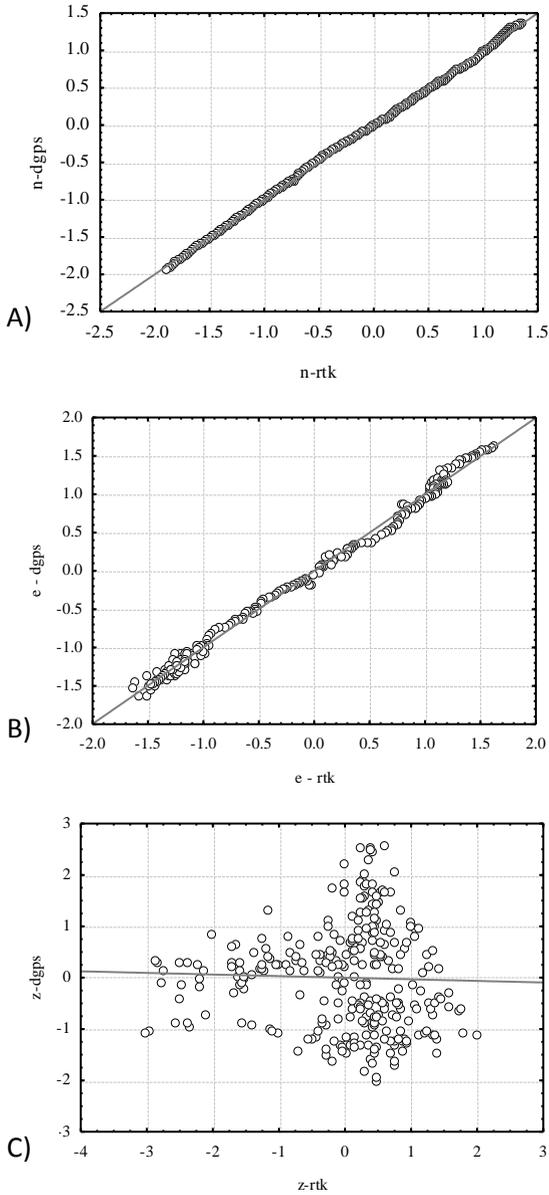


Figura 10. Gráfico de dispersão na reta dos valores;
 UTM norte(x); B) UTM leste(y); C) Altura(z)

série. O movimento similar é o que indica a correlação com valor igual a um e conforme os valores se aproximam de zero, indicam a diminuição da correlação. No zero a correlação é nula. Quando a correlação apresentar valor negativo indica variação proporcionalmente inversa dos valores.

2.3.2. Teste de campo com GPS-RTK e Nivelamento geométrico

Os registros com método GPS-RTK foram realizados utilizando um conjunto GPS geodésico da fabricante Trimble com antenas modelo R6 com rádio interno. Esta técnica mantém as antenas conectadas e permite a troca de informações para o processamento quase instantâneo das correções, o que fornece para a coletora de dados as posições já corrigidas praticamente em tempo real.

Com o método GPS-RTK é possível empregar diferentes metodologias para obtenção de posições. A metodologia utilizada para os levantamentos dos perfis foi o posicionamento relativo estático rápido, que exige a ocupação da estação por mais de uma época, ou seja, mais de um segundo. A precisão e a exatidão do levantamento são aprimoradas à medida que se realizam mais observações no mesmo ponto. No presente estudo, cada ponto do levantamento dos perfis transversais foi observado por cinco segundos, fornecendo a posição tridimensional nos eixos X , Y e Z dos pontos.

O nivelamento geométrico foi realizado utilizando o nível óptico de precisão FOIF – AL132 e uma régua graduada, além de balizas e trena. A partir do ponto de apoio topográfico que materializa o início do perfil foi realizado o alinhamento com balizas, garantindo o registro da mesma informação com ambos os métodos. A cada modificação mais acentuada da topografia do perfil um ponto foi registrado.

A obtenção dos valores de cota e distância de cada ponto se dá através da leitura na régua graduada dos valores coincidentes com as três linhas de nível (nível superior, nível médio e nível inferior). A leitura da linha do nível médio representa o nível relativo do ponto. A distância entre a régua graduada e o ponto ocupado pelo nível é igual a diferença entre o nível superior (ns) e o nível inferior (ni) multiplicado pela constante do equipamento, no caso cem (equação 02).

$$D = 100 * (ns - ni) \quad (2)$$

Quando se realiza o nivelamento geométrico é importante verificar, pela prova real, as leituras realizadas imediatamente após o registro. Assim se evita a incorporação de erros e se permite realizar nova leitura do ponto, quando necessário.

Para realizar a comparação proposta foram escolhidos seis pontos de apoio topográfico, instalados no Camping da Barra. O levantamento do perfil iniciou no ponto de apoio topográfico e segue em direção ao mar, em alinhamentos transversais à praia. O alinhamento foi demarcado com balizas, evitando erros de aquisição dos perfis. O registro de cada perfil foi realizado com o método GPS-RTK, quando se instalava balizas garantindo o mesmo alinhamento para o registro com o nivelamento geométrico.

Os levantamentos de perfis transversais realizados com o método GPS-RTK resultaram em dados de posição com valores x , y e z dos pontos. Com os dados brutos obtidos gravados em arquivos digitais de texto, posteriormente foram organizados em planilha eletrônica. Isto permitiu realizar o tratamento dos dados para obtenção dos valores de distância e altura (cota), resultando na representação em cortes transversais à praia.

Para transformar as posições (x, y) em dados de distância no perfil topográfico é preciso conhecer a posição inicial (x', y') . Com isso as demais posições podem indicar a distância em metros do ponto em relação ao início do perfil, através do cálculo que resulta na distância (D) (equação 3) por:

$$D = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (3)$$

Com os resultados da transformação foram obtidos dados de distância e cota dos perfis obtidos com o GPS-RTK, os quais foram analisados com auxílio do programa BMAP 2.0 (LARSON, 1999), que calcula volumes com a regra dos trapézios. Os valores no eixo z obtidos na altura GPS foram assumidos como a cota relativa para o nivelamento.

A partir dos dados de distância e cota obtidos nos dois métodos foi realizada a comparação dos resultados dos perfis. A tabela 1 indica os volumes dos perfis transversais e as diferenças volumétricas encontradas na comparação entre os métodos GPS-RTK e nivelamento geométrico.

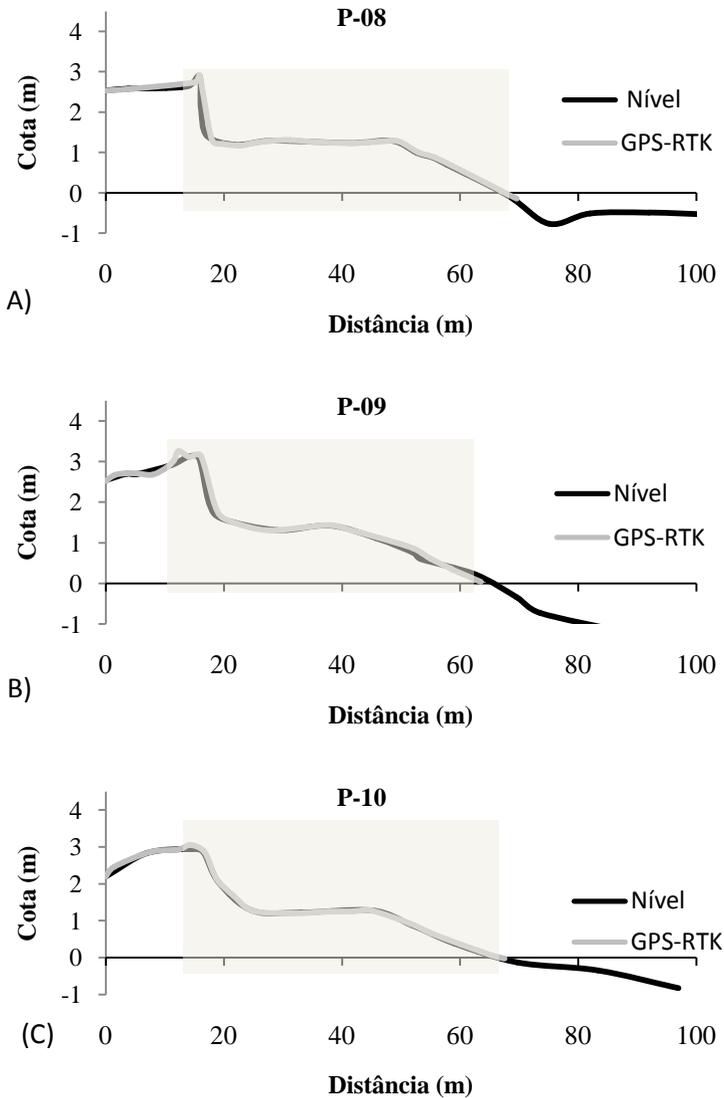


Figura 11. Perfis transversais obtidos com nivelamento geométrico (Nível) e GPS-RTK. As áreas no gráfico grifadas em cinza foram consideradas no cálculo do volume. A) perfil 08, B) perfil 09, C) perfil 10.

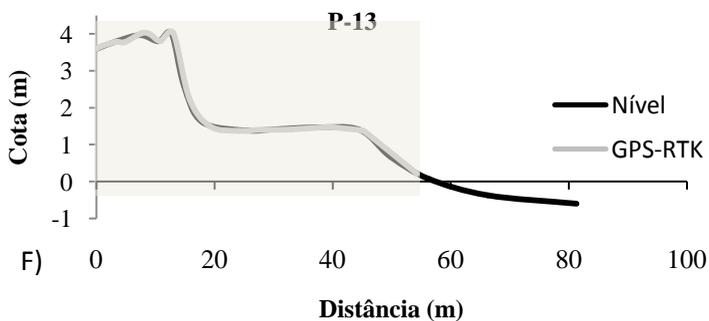
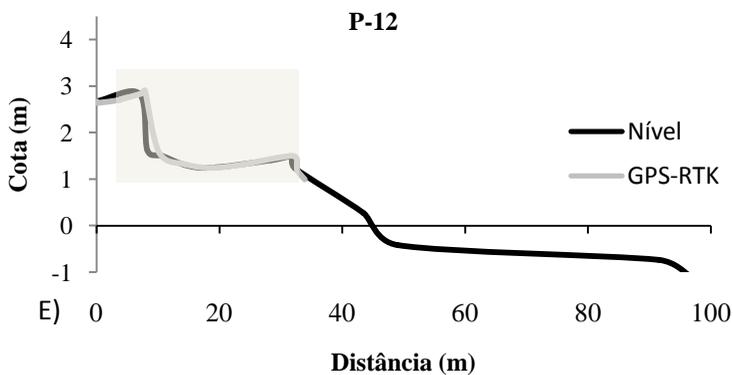
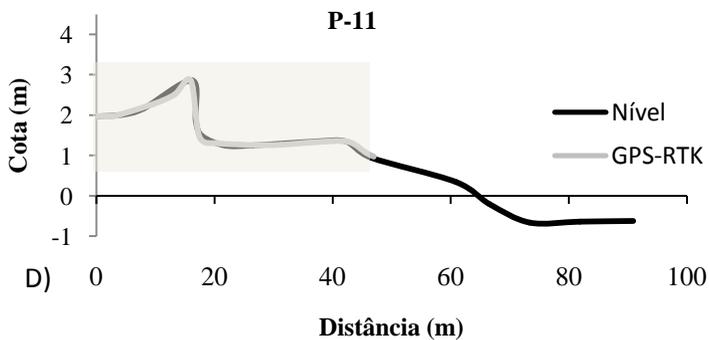


Figura 12. Perfis transversais obtidos com nivelamento geométrico e GPS-RTK. As áreas no gráfico grifadas em cinza foram consideradas no cálculo do volume. D) perfil 08, E) perfil 09, F) perfil 10.

As diferenças observadas nos volumes dos perfis (tabela 1) apresentam valores que representam entre 0,1% e 6,4%. Estas modificações são bastante discretas na forma dos perfis de praia, conforme pode ser visualizado nas figuras 11 e 12, onde se percebe as áreas demarcadas que foram consideradas nos cálculos de volume.

Os resultados obtidos nos testes realizados foram suficientes para satisfazer a questão sobre a possibilidade de obter perfis transversais à praia substituindo o método de nivelamento geométrico por um método mais moderno, o GPS-RTK. Assim, a representação dos perfis obtidos com o GPS-RTK se mostrou viável.

Tabela 1. Valores dos volumes obtidos nos perfis com os diferentes métodos e respectivas diferenças.

Perfil	Volume (m ³ /m)	Diferença (rtk - nível)	Diferença (% volume)
P08-RTK	61,9		
P08-nível	59,7	2,2	3,5
P09-RTK	44,4		
P09- nível	42,7	1,7	3,8
P10-RTK	100,3		
P10- nível	99,4	0,9	0,9
P11-RTK	30,1		
P11- nível	30,5	-0,4	0,1
P12-RTK	24,8		
P12- nível	23,2	1,6	6,4
P13-RTK	93,0		
P13- nível	91,9	1,1	1,0

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS COMPARAÇÕES METODOLÓGICAS.

As comparações realizadas neste capítulo permitem verificar as particularidades da aplicação dos diferentes métodos em estudos costeiros (posição da linha de costa e perfil praias).

A comparação entre o método DGPS e o método GPS-RTK foi analisada através da verificação do RMSE, assumindo o segundo como a expressão da posição real. Os resultados alcançaram valores muito

próximos a zero, tanto nos dados de UTM Norte (RMSE 0,02), quanto nos dados de UTM Leste (RMSE 0,06). Situação diferente da análise dos valores de altura que resultou no RMSE de 1,4.

Esta diferença entre valores de x , y e z indicam que a precisão para os valores de altura obtidos com o método DGPS possuem erros grandes quando comparados com os resultados obtidos com o método GPS-RTK. Não há correlação entre as alturas obtidas. Embora Freitas et al. (2003) apresentaram diferenças que atingiram 0,15m na comparação entre o método DGPS e o método de rampas proposto por Borges (1977) que utiliza teodolito.

É importante destacar que Freitas et al. (2003) apresentam diferenças de até 6% no volume dos perfis na comparação do método de rampas com o método DGPS, valor próximo ao encontrado neste trabalho, em que a diferença máxima registrada foi de 6,4%, porém comparando os perfis obtidos com nivelamento geométrico e GPS-RTK.

Nas alturas (cotas) observadas utilizando o método GPS-RTK os valores variaram entre 0,6 e 2,4 metros. Já no método DGPS os valores ultrapassaram 5 metros. A figura 9C (página 52), apresentou a representação gráfica dos valores obtidos nos registros de altura em ambos os métodos, mostrando as diferenças encontradas e a maior aproximação entre os valores no final da série.

Segundo Prado e Krueger (2003), o erro altimétrico é bastante instável, o que pode explicar a dinâmica da variação registrada, mesmo na maior aproximação verificada, as variações ultrapassam um metro. Isto demonstra a imprecisão da altimetria utilizando o posicionamento cinemático com DGPS, por conta da instabilidade do sinal, que é minimizada quando em posicionamento estático.

Em comparação com as possibilidades oferecidas pelo GPS-RTK, o DGPS é bastante limitado. Todavia, a comparação dos resultados evidenciam que o método DGPS empregado em trabalhos de mapeamento (planimétrico), pode substituir o método GPS-RTK. Existem vantagens operacionais do DGPS que devem ser consideradas, como o fato de necessitar apenas de um operador, o que diminui os custos de operação e facilita a programação das atividades de campo. Destaca-se também a vantagem econômica do DGPS, ao considerar os valores de mercado para compra e locação destes equipamentos.

As diferenças encontradas entre os resultados do DGPS e do GPS-RTK indicaram que ao realizar mapeamentos da linha de costa ou estudos da forma em planta a solução do DGPS se apresenta satisfatória. O DGPS obteve registros muito semelhantes aos obtidos com o GPS-RTK nos dados planimétricos. Entretanto, quando os registros de

dados altimétricos se fizerem importantes o GPS-RTK deverá ser utilizado.

Quanto a altura, considerar verdadeiro os dados adquiridos por GPS-RTK pode ser um erro quando esta medida for tomada em montanhas ou planaltos, todavia junto ao mar os valores podem ser assumidos (SEEBER; 2003, MONICO; 2008). Para testar isto assumiu-se o nivelamento geométrico como a expressão da verdade. Foram utilizados os valores da altura GPS para ajustar o nível relativo do nivelamento geométrico. A comparação dos volumes obtidos nos perfis transversais com os métodos de nivelamento geométrico e GPS-RTK apresentaram considerável similaridade, o que pode ser observada na representação gráfica dos perfis (apêndices A, B, C, D, E) .

Ao considerar a velocidade de trabalho, o método GPS-RTK se mostrou muito mais ágil nos levantamentos, uma vez que pode dispensar a instalação de balizas, pois é possível verificar o alinhamento do perfil na tela da controladora em tempo real. Entretanto, concordando com Harley et al. (2011) a metodologia proposta por Emery (1961) é confiável e eficaz, atinge mesmo com a simplicidade do método ótimos resultados.

É muito pequena a redução na precisão em comparação entre as técnicas mais sofisticadas como o GPS-RTK (HARLEY et al., 2011). Assim o nivelamento geométrico satisfaz as necessidades de muitos tipos de estudos, sem adicionar o custo elevado da utilização de uma tecnologia bastante moderna e de elevado custo como o GPS-RTK.

Os pontos positivos e negativos destacados em cada um dos métodos utilizados neste estudo estão apresentados na tabela 02. Os métodos mais modernos com equipamentos eletrônicos, atualmente vêm substituindo as práticas menos tecnológicas de monitoramento de praias. Apesar do baixo custo dos equipamentos envolvidos no nivelamento geométrico o grande volume de informação que pode ser obtido com GPS-RTK deve ser considerado na avaliação das possibilidades metodológicas de um trabalho. A grande vantagem verificada no método GPS-RTK é o fato de permitir operar duas metodologias simultaneamente. Pois possibilita realizar o registro da posição da linha de costa empregando o posicionamento relativo cinemático e obter os perfis transversais a praia utilizando o posicionamento relativo estático rápido. Pausando e retomando uma ou outra metodologia.

Todavia independente do método a ser adotado deve ser primordialmente garantida a capacidade do operador de detectar as modificações topográficas da praia, tendo em vista que foi verificado ser possível alcançar resultados eficientes em todos os métodos testados,

respeitando as limitações de cada método. Ficou evidente que a adequação do método aos objetivos propostos no projeto devem estar em sintonia, evitando obter dados imprecisos, ou investir em um equipamento superdimensionado. Todavia o uso do GPS-RTK, fornece a possibilidade de realizar levantamentos de grandes áreas de maneira ágil e precisa.

Tabela 2. Pontos negativos e positivos dos métodos comparados.

Método	Pontos positivos	Pontos negativos
DGPS	Custo Precisão planimétrica Equipe Velocidade de trabalho	Altimetria Sensibilidade a umidade Pós-processamento Perfil transversal
GPS-RTK	Precisão Velocidade de trabalho Resultados em tempo real Perfil transversal Altimetria Planimetria	Custo Equipe Sensibilidade a umidade
Nivelamento geométrico	Baixo custo Levantamentos em águas rasas Precisão Registro de perfil transversal	Planimetria Equipe Erros acumulativos Cálculos em campo Velocidade de trabalho Apoio topográfico Tratamento de dados

3. ANÁLISE DA VARIAÇÃO DOS INDICADORES DE POSIÇÃO DA LINHA DE COSTA EM ESCALA DE EVENTOS.

A linha de costa estabelece a posição exata da interface entre as águas e as terras e é o encontro dos limites das massas líquidas dos oceanos com as massas sólidas das terras emersas (SUGUIO, 1992; PILKEY; DIXON, 1996; BIRD, 2008; DIAS, 2013). A posição da linha de costa dependerá da atuação de processos que regem a dinâmica costeira como as marés, as condições atmosféricas, a inclinação da praia, a altura de quebra das ondas, entre outros (OERTEL, 2005). Esta dinâmica impõe variações de posição na escala dos segundos, contribuindo instantaneamente com a resultante do comportamento da costa em escalas decadais e seculares.

A linha de costa é uma fronteira que está em constante movimento por conta da atuação dos processos oceanográficos. As variações na posição da linha de costa podem ser dramáticas ou insignificantes, sem um padrão uniforme nas diferentes escalas temporais, como dias, estações do ano ou décadas (WHITE, 2007).

As abordagens científicas sobre a linha de costa são bastante específicas, o que exige conforme destacado por Oertel (2005), apresentações claras que descrevam os conceitos adotados. Entretanto, para Boak e Turner (2005), o conceito específico da linha de costa geralmente é menos importante do que a capacidade para detectar e quantificar a variação da posição dessa linha.

A capacidade de detecção e registro das informações devem alcançar uma precisão que garanta a correta interpretação das informações obtidas. É importante reconhecer a capacidade dos instrumentos utilizados nos registros, bem como ter a clara definição do indicador utilizado. O comportamento dinâmico dos indicadores acrescentam erros que devem ser considerados, pois comprometem tanto a precisão da análise do comportamento da linha de costa, como a predição do comportamento futuro da linha de costa. Todavia, as diversas possibilidades de levantamentos disponíveis nos dias atuais, por mais precisos que se apresentem, devem considerar que mesmo a rugosidade superficial do terreno, pode impor restrições à precisão desejada.

Segundo Suguio (1992) linha de costa ou linha costeira é tecnicamente a linha que forma o limite entre a terra e a praia. Comumente é considerada como a linha que forma o limite entre a terra e a água em uma região costeira. Assim, Pilkey e Dixon (1996),

Silvester e Hsu (1997) e Oertel (2005) indicam que a linha de costa é a fronteira entre as partes secas e molhadas da praia, devendo ser consideradas também as variações das marés, uma vez que estas modificam o encontro entre a terra e a água. Pois é clara a noção de que a posição da linha de costa na maré alta é diferente da posição na maré baixa. Assim como Bird (2008), que entende a linha de costa como o limite exato da água na costa e considera a costa como a área localizada entre os limites da água na maré baixa e o limite máximo da efetiva ação das ondas.

Em língua portuguesa o termo linha de costa pode levar à compreensão correlata do termo *Shoreline* do idioma inglês. Horn (2005) define linha de costa como a posição onde o nível médio da superfície da água (*MSW – Mean Water Surface*) atinge a primeira porção semi emersa da praia, denominada de face da praia. Nos limites que definem a zona de espraiamento estão o menor e o maior alcance dos fluxos de dissipação das ondas. *Shore* por sua vez, pode ser considerado como a parte aérea da praia até as dunas, planície costeira ou qualquer outra modificação da paisagem (OERTEL, 2005).

Ressaltando que seja em língua portuguesa ou mesmo em língua inglesa os termos empregados nas ciências costeiras as vezes se confundem por não haver uma clara definição do emprego desses termos (HOEFEL, 1998; DIAS, 2013). Contudo ao analisar variações na posição da linha de costa, deve-se considerar o conceito do indicador adotado.

Segundo Carter (1988), em monitoramento costeiro a definição do que será registrado deve considerar as escalas espacial e temporal, bem como a relevância das informações a serem obtidas. Registrar a posição da linha de costa em um instante no tempo é uma iniciativa de buscar uma representação exata para um limite geográfico que é amplo e muito dinâmico.

Assim as técnicas de registro da morfologia de praias muitas vezes fazem referência a feições que representam uma posição passada da linha de costa, uma vez que estas podem ser entendidas como os indicadores da posição da linha de costa, pois efetivamente refletem o trabalho das ondas sobre a praia em algum momento.

Estudos realizados por Pajak e Leatherman (2002) concluíram que a linha do alcance mais alto da água (*HWL – High Water Line*) é um bom indicador da condição da praia. Porém, os autores destacam que os resultados foram obtidos em praias com características sazonais bem definidas entre inverno e verão. Um bom indicador da posição da linha de costa deve ser prático para ser registrado e ainda deve existir

continuamente ao longo da área de estudo (PAJAK; LEATHERMAN, 2002). Deve ser considerado o fato de que a base da escarpa da duna, um dos indicadores de linha de costa existente, é formada no limite do máximo alcance das ondas da tempestade. Enquanto Pilkey e Dixon (1996) sugerem a utilização das posições médias da maré ou do nível do mar para registrar a linha de costa em mapeamentos, Boak e Turner (2005) ressaltam que assumir a linha de costa de um determinado momento como a representação da condição normal ou média é assumir um erro em potencial.

Os indicadores da posição da linha de costa (figura 13) são feições morfológicas, visuais ou antrópicas, que podem ser assumidas como a representação da verdadeira posição dessa linha em um determinado momento do tempo. Devido a natureza dinâmica da linha de costa ao realizar estudos nessas áreas os cientistas costeiros utilizam os indicadores como recurso para obter uma representação real da variação da linha de costa (BOAK; TURNER, 2005).

Na revisão sobre definição e detecção da posição da linha de costa Boak e Turner (2005) apresentaram uma compilação dos indicadores citados em trabalhos científicos. Foi destacado a ampla utilização das feições discerníveis visualmente, sugerindo que os indicadores podem ser divididos em três grupos: 1º) grupo das feições representadas por estruturas construídas pelo homem; 2º) grupo das feições morfológicas; e 3º) grupo das feições discerníveis visualmente.

O primeiro grupo de indicadores da posição da linha de costa é composto pelas obras de engenharia, que se apresentam nas modificações impostas pelo homem sobre as costas naturais. Em grande parte dos casos constituem estruturas de proteção costeiras, que denotam as interferências humanas no sistema sedimentar. São indicadores que se destacam na paisagem, pois em geral são construídos com matacões, grandes fragmentos de rochas ou por reforçadas estruturas de concreto, que recebem e, por tanto devem suportar, a incidência de ondas.

O segundo grupo é formado pelas feições morfológicas resultantes da interação do pacote sedimentar com os agentes da dinâmica costeira, que esculpem na areia as feições da praia, utilizadas como indicadores da posição da linha de costa, como a base da escarpa. O terceiro e último grupo de indicadores faz referência à linha de costa representada quase instantaneamente pela posição da linha d'água na margem das terras emersas; são feições discerníveis apenas visualmente. A linha do espraiamento, assim como a linha no encontro da areia seca com a areia molhada (linha seca-molhada) e a marca da maré alta, indicam a linha de costa na escala instantânea do tempo.

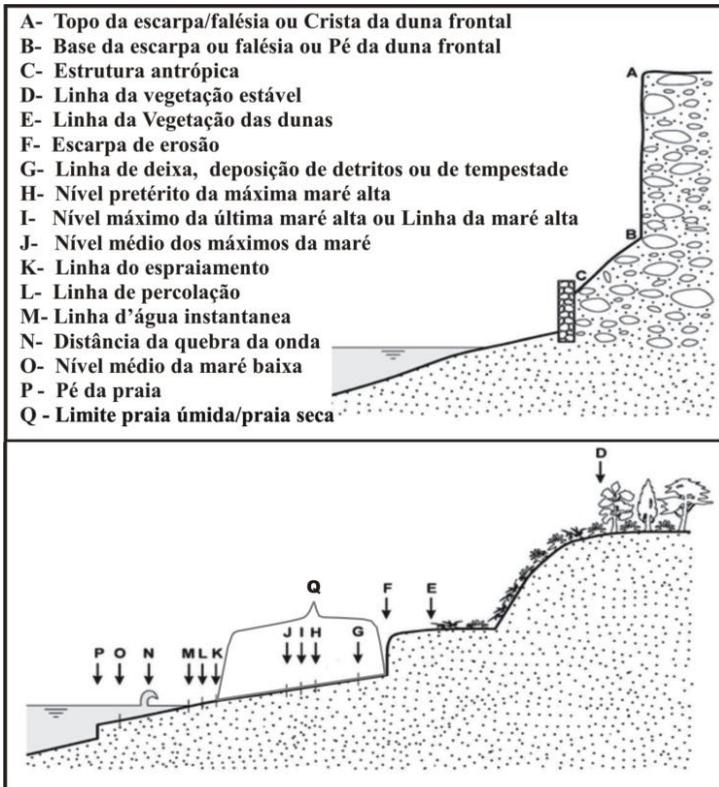


Figura 13. Indicadores da posição da linha de costa destacados por Boak e Turner (2005) e Toldo Jr. e Almeida (2003), figura adaptada de Boak e Turner (2005).

Com base nos trabalhos de Boak e Turner (2005) e Toldo Jr. e Almeida (2003) (figura 13), foram definidos os indicadores utilizados neste trabalho (figura 14), as análises da variabilidade dos indicadores da posição da linha de costa investigaram o comportamento da base da escarpa, que é um indicador do segundo grupo, além da linha do espriamento e da linha seca-molhada, que são indicadores do terceiro grupo e normalmente utilizados na interpretação de fotografias aéreas e/ou imagens de satélite (HOEKE; ZARILLO; SYNDER, 2001; ARAUJO et al., 2009).

Os indicadores destacados por Boak e Turner (2005) devem ser considerados em conjunto com o entendimento dos indicadores

presentes no trabalho de Toldo Jr. e Almeida (2003), que destacaram como indicadores da posição da linha de costa: a linha da vegetação a crista da duna frontal, o pé da duna frontal (base), a crista da berma, o limite entre a praia úmida e a praia seca, a linha da maré alta e a linha da água.

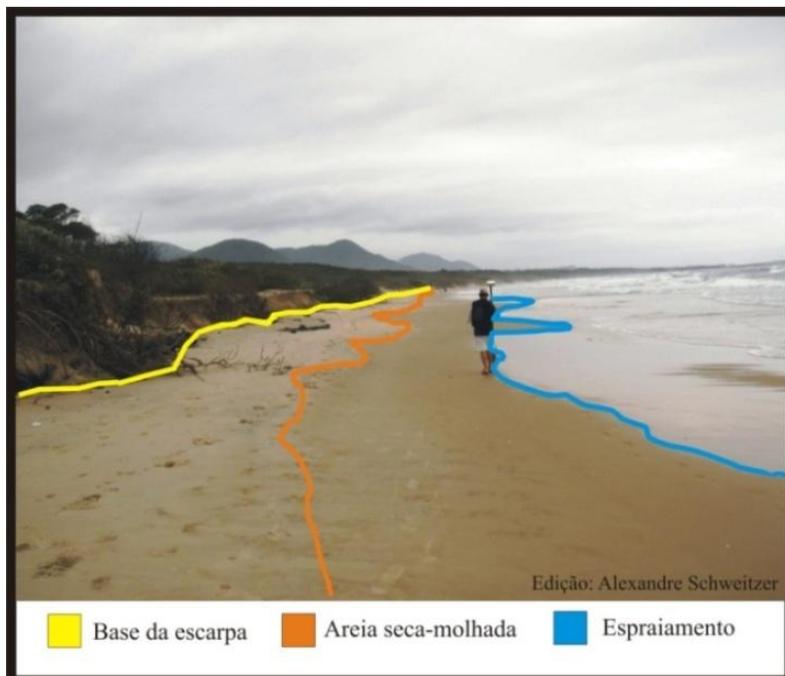


Figura 14. Indicadores da posição da linha de costa selecionados para as análises. Vista de Sul para Norte da Barra da Lagoa.

A análise da variabilidade visa conhecer e comparar a mobilidade dos diferentes indicadores da posição da linha de costa e busca encontrar fundamentação para justificar a opção por determinado indicador na realização de monitoramentos da posição da linha de costa. Por conta das atividades de campo estarem vinculadas ao monitoramento do comportamento da linha de costa frente a ação de eventos extremos, a obtenção dos dados foi realizada conforme os alertas da previsão de ocorrência dos fenômenos oceanográficos de grande intensidade, obtendo dados da praia antes e depois da ocorrência das ondas previstas, as atividades decorriam conforme descrito no capítulo 4.

3.1 METODOLOGIA: REGISTRO E ANÁLISE DA POSIÇÃO DOS INDICADORES DA LINHA DE COSTA

As atividades de monitoramento em campo (tabela 3) foram realizadas entre junho de 2011 e setembro de 2012 na Barra da Lagoa e entre maio e setembro de 2012 em Taquarinhas, praias com características morfodinâmicas (WRIGHT; SHORT, 1984) intermediária e reflectiva, respectivamente. Para o desenvolvimento das atividades de análise da variação da posição dos indicadores da linha de costa, foram selecionadas três feições indicadoras, considerando a continuidade e a discernibilidade ao longo das áreas estudadas.

Tabela 3. Rol das atividades de campo realizadas para identificação e registro da posição dos indicadores da linha de costa.

Data	Local	Indicadores registrados
15/08/2011	Barra da Lagoa,	Turfa, Base escarpa
27/08/2011	Barra da Lagoa,	Sobrelavagem, Topo escarpa, Base escarpa, Turfa
15/10/2011	Barra da Lagoa	Topo escarpa, Base escarpa, Seca-molhada, Espraçamento
15/03/2012	Barra da Lagoa,	Espraçamento, Base escarpa
19/04/2012	Barra da Lagoa.	Espraçamento, Base escarpa
10/05/2012	Barra da Lagoa	Base escarpa, Seca-molhada, Espraçamento
17/05/2012	Taquarinhas	Base escarpa, Seca-molhada, Espraçamento
26/05/2012	Barra da Lagoa.	Base escarpa, Espraçamento
30/05/2012	Taquarinhas	Base escarpa, Seca-molhada, Espraçamento
25/06/2012	Barra da Lagoa.	Espraçamento
27/07/2012	Barra da Lagoa.	Base escarpa, Seca-molhada, Espraçamento.
03/08/2012	Barra da Lagoa.	Base escarpa, Seca-molhada, Espraçamento
23/08/2012	Barra da Lagoa.	Base escarpa, Seca-molhada, Espraçamento
23/08/2012	Taquarinhas	Base escarpa, Seca-molhada, Espraçamento
04/09/2012	Taquarinhas	Base escarpa, Seca-molhada, Espraçamento
06/09/2012	Barra da Lagoa.	Base escarpa, Seca-molhada, Espraçamento

Os registros da posição da linha de costa e dos perfis transversais foram realizados com o emprego do método GPS-RTK. A aplicação do método GPS-RTK em estudos da morfologia costeira é discutida no capítulo dois. Todavia, o GPS-RTK rastreia o sinal GPS simultaneamente com um par de antenas conectadas entre si via rádio-frequência. Uma das antenas é fixada sobre um referencial com posição conhecida para estabelecer a estação base, enquanto a antena móvel é conduzida pelos pontos que devem ser posicionados. Através da conexão de rádio entre as antenas é possível realizar o processamento dos dados, solucionando quase instantaneamente o vetor de ambiguidades (MONICO, 2008), ou seja, corrigindo o posicionamento em tempo real, com grande precisão. Este método é genericamente denominado topo contínuo ou “*on the fly*”.

Para auxiliar na condução da antena móvel foi construído um suporte com uma roda para apoiar a haste da antena, inspirado no suporte de antena utilizado por Baptista et al. (2008, 2011). O suporte adaptado com a roda facilita a condução dos equipamentos, auxilia na manutenção da altura e da verticalidade da antena (figura 15). Contudo, não elimina completamente os erros. Conforme os testes realizados por Baptista et al. (2008), com dez graus de inclinação uma antena com dois metros de altura, acrescentará um erro de trinta e quatro centímetros (0,34m) na componente planimétrica, e de três centímetros (0,03m) na componente altimétrica. A antena utilizada possuía um metro e setenta e quatro (1,74m) centímetros de altura. Manter a verticalidade da antena sem o auxílio de uma estrutura de transporte robusta que compense esse movimento é extremamente difícil.

Os procedimentos de campo partiam da operacionalização do GPS-RTK sobre a rede de referência local que foi previamente obtida. Com a estação da antena base do GPS-RTK em operação sobre o referencial de nível (RN) com posição conhecida. A antena móvel é conectada e configurada para registrar uma posição a cada metro de deslocamento. Os caminhamentos consistiram em conduzir a antena sobre os indicadores selecionados registrando as posições das linhas de costa.

Os dados brutos das atividades de campo, depois de exportados em formato de texto para dispositivos de armazenamento, foram convertidos em planilhas eletrônicas e inseridos em um sistema de informações geográficas (SIG). Com as informações dos indicadores da posição da linha de costa devidamente computadas em uma base de dados geográficos, foi possível verificar as variações dos indicadores da posição da linha de costa utilizando a ferramenta de análise digital da

linha de costa DSAS 4.0 (THIELER et al., 2009). Trata-se de uma ferramenta de análise que calcula variações da linha de costa, que pode ser bem aplicado em análises com pequena escala espacial. Apesar do DSAS em uma versão anterior ter sido apontado por Moore (2000), como um sistema que apresenta alto nível de precisão aliado a uma baixa exigência computacional, isto está diretamente relacionado com a qualidade dos dados de entrada, incluindo a densidade espacial da criação dos perfis no DSAS.



Figura 15. Roda de transporte para a antena móvel do conjunto GPS-RTK, com destaques na imagem para ressaltar a inclinação da antena. Imagem: Jonas Gomes Oliveira. Outubro/2011.

O DSAS opera a partir da inserção de uma linha de base vetorial dentro do banco de dados geográficos. Essa linha deve ser criada paralela a praia em estudo e serve como referência inicial para construção computacional dos perfis transversais necessários para as análises (figuras 16 e 17). Estes perfis são denominados no presente trabalho como perfis DSAS. Os perfis podem ser espaçados conforme determinação na análise, sendo que neste trabalho foi adotado o espaçamento de vinte metros. Com os perfis DSAS definidos as linhas de costa são inseridas em um mesmo arquivo vetorial devidamente identificadas pela data. A partir da obtenção das posições nas intersecções entre as linhas de costa e cada um dos perfis, com a ajuda do sistema que calcula as distâncias entre linha de base criada no início

dos perfis e cada uma das linhas de costa obtidas. Essas informações permitem conhecer as distâncias de variação da linha de costa. O DSAS possibilita a aplicação de distintos métodos de tratamento dos dados, permitindo diferentes análises dos resultados da variação da linha de costa.

Dentre as possibilidades metodológicas de análise descritas no manual do DSAS, o método SCE (*shoreline change envelope*) foi aplicado para realização das análises de variabilidade dos indicadores. Este método de análise verifica a maior variação em metros da linha de costa para cada um dos perfis. Os resultados são obtidos pela diferença das distâncias entre o início do perfil e as interseções com as linhas de costa mais próxima e mais distante. Ou seja, verifica-se a distância de duas linhas de costa para uma linha de base estabelecida (THIELER et al., 2009). O método resulta no valor da máxima variação registrada da posição do indicador da linha de costa para o período do estudo. Assim o DSAS através do SCE calcula as diferenças e indica qual foi a variação métrica entre duas linhas de costa, no caso deste estudo as variações se referem a cada um dos indicadores analisados.

3.2 VARIAÇÕES DOS INDICADORES DA POSIÇÃO DA LINHA DE COSTA

O processamento das posições dos indicadores selecionados resultaram na espacialização dos dados (figuras 16 e 17), o que permite a visualização das diferentes localizações em que a linha de costa foi registrada durante os trabalhos de campo, apesar. Devido a pequena escala espacial deste trabalho o espaçamento de 20 metros entre os perfis do DSAS se mostrou consistente sem demandar uma alta capacidade computacional.

A realização da análise no SCE resultou nos valores em metros da variação dos indicadores nos perfis estabelecidos no DSAS. Os resultados da análise no SCE podem ser verificados na tabela 04, esta análise se demonstrou compatível com a busca pelo reconhecimento da mobilidade dos indicadores, pois apresenta resultados métricos de distâncias entre linhas de costa. Diferente de outros métodos de análise do DSAS que apresentam taxas de variação ao longo do tempo. Observando os valores obtidos no SCE é possível verificar que o indicador base da escarpa apresentou variação máxima de três metros e sessenta centímetros, e uma variação média de oitenta centímetros na praia de Taquarinhas (figura 16). Na Barra da Lagoa, a variação máxima

registrada foi de oito metros, sendo que a variação média foi de três metros e meio (figura 17).

Apesar da variação pontual de oito metros, a base da escarpa se mostrou bastante estável, considerando ter sido o indicador com menor variação nos levantamentos realizados. Trata-se de um indicador do grupo das feições morfológicas indicadoras da posição da linha de costa (BOAK; TURNER, 2005). Este indicador mostrou ser satisfatório para monitoramento costeiro, em especial onde há recorrência de eventos erosivos, pois as ondas atingem a base da duna ou a duna frontal quando da ocorrência conjunta com maré sizígia, maré meteorológica positiva e ondas com alturas elevadas.

Os indicadores linha da areia seca-molhada e linha do espraiamento apresentaram as maiores variações em suas posições, quando comparados ao indicador base da escarpa. Resultado esperado, por conta da influência direta das variações astronômicas sobre esses dois indicadores, o que corrobora com o indicado na literatura (MOORE; RUGGIERO; LIST, 2006). O grupo das feição discerníveis visualmente foi o que apresentou a maior mobilidade, indicando a grande influência do nível da água no comportamento da linha de costa, conforme descrito por Horn (2005). A linha da areia seca-molhada apresentou variação máxima ultrapassando os vinte e oito metros na Barra da Lagoa e próximo a dezesete metros em Taquarinhas.

Os valores da variação média encontrados para os indicadores nos dois tipos de praia, indicam que na praia reflectiva a posição de todos os indicadores foram mais estáveis que na praia intermediária (tabela 5, figuras 18 e 19). Este é um resultado condizente com a realidade, em praias do tipo reflectiva, o espraiamento das ondas tende a ser mais estreito e mais inclinado que em outros tipos, atinge maiores alturas na subida à praia. Em ambos os tipo de praia investigados as feições do grupo dos indicadores discerníveis visualmente se apresentam com as maiores variabilidades. Apesar da facilidade do discernimento desses indicadores, os resultados necessitam de correções a partir de níveis relativos da maré, o que exige o conhecimento da hora e data da aquisição do dado.

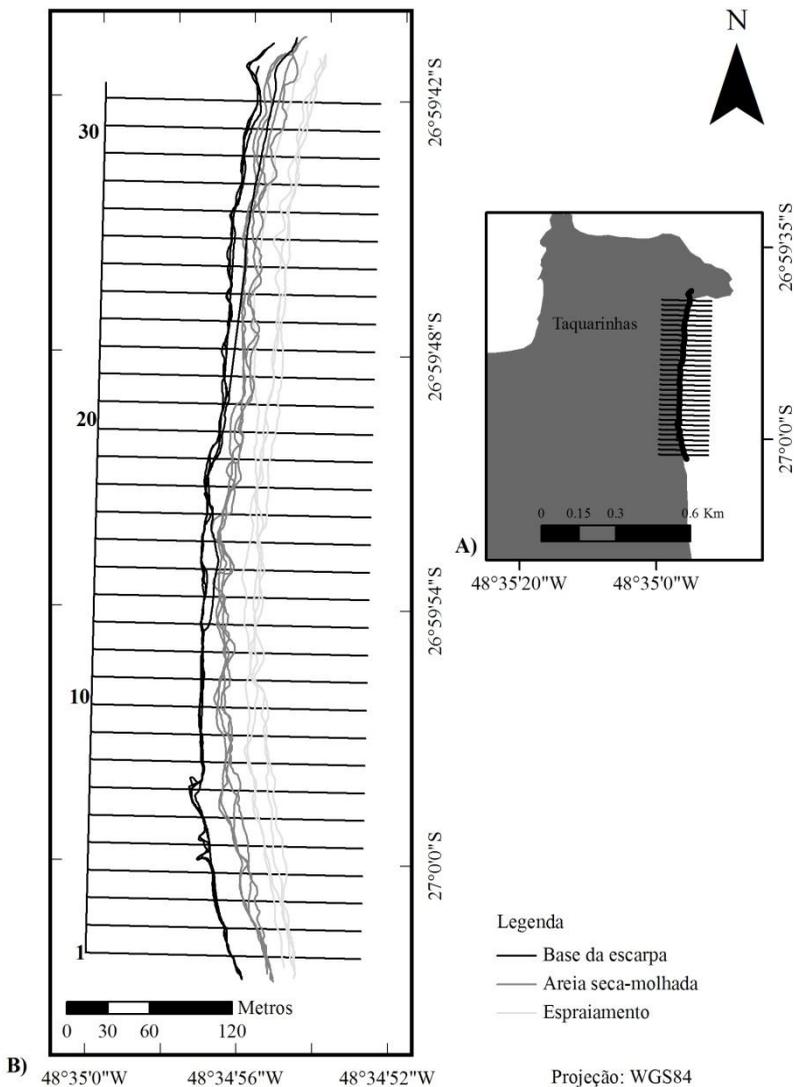


Figura 16. A) Localização dos perfis DSAS em Taquarinhas; B) Espacialização dos três indicadores da linha de costa analisados na praia de Taquarinhas.

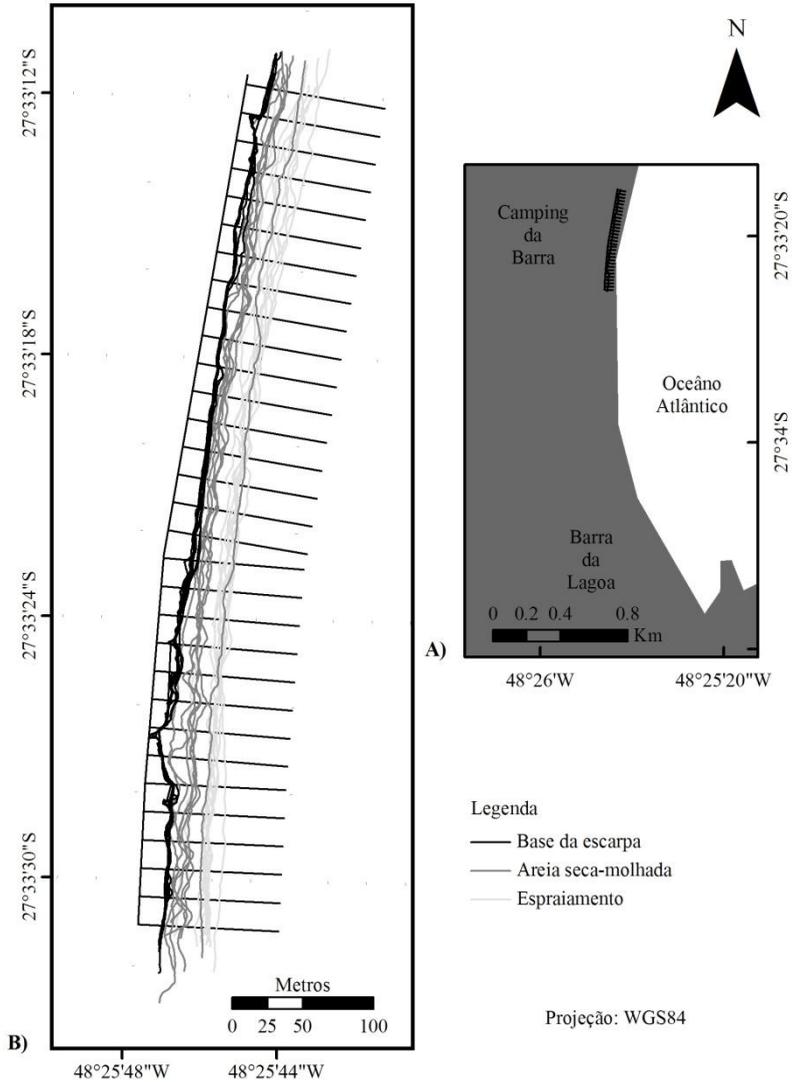


Figura 17. A) Localização dos perfis DSAS na Barra da Lagoa; B) Espacialização dos três indicadores da linha de costa analisados na Barra da Lagoa.

Tabela 4. Valores em metros obtidos no DSAS com aplicação do método SCE. Onde se apresenta x, indica inexistência do dado. (d.p.= desvio padrão).

SCE	Taquarinhas			Camping da Barra		
	Perfil DSAS	Base Escarpa	Areia seca-molhada	Espraiamento	Base escarpa	Areia seca-molhada
1	0,6	1,7	8,9	1,4	20,0	28,6
2	0,1	4,0	7,9	3,2	19,7	28,4
3	0,1	8,5	6,6	1,5	18,5	28,0
4	0,1	7,3	13,1	2,0	21,8	26,7
5	3,6	9,6	13,1	1,4	20,5	26,4
6	0,2	12,1	14,3	3,0	20,3	23,3
7	0,5	12,3	13,7	1,2	28,3	22,3
8	0,0	4,3	16,0	1,3	25,6	25,1
9	0,2	6,3	13,6	6,3	24,0	22,9
10	0,1	5,2	13,9	8,0	28,4	18,9
11	1,2	7,6	5,9	7,3	27,8	22,4
12	0,1	7,6	10,2	3,3	26,7	21,0
13	0,3	6,5	8,4	5,0	21,8	18,7
14	0,1	3,8	11,6	8,0	26,1	20,6
15	1,3	9,4	15,0	5,4	24,6	24,8
16	0,9	2,5	7,1	3,6	24,8	25,7
17	0,2	3,8	12,1	2,6	26,4	27,1
18	0,4	4,2	8,8	2,8	23,6	21,2
19	1,1	5,0	10,3	2,2	25,0	18,2
20	0,5	8,1	13,8	2,1	22,1	23,2
21	1,3	7,5	14,8	2,4	20,7	17,6
22	0,0	6,1	19,7	0,9	27,8	17,8
23	2,8	7,3	20,3	1,1	23,4	19,6
24	1,3	10,0	20,4	2,9	16,2	21,0
25	0,6	6,9	22,3	5,1	12,0	19,5
26	1,4	12,5	20,3	7,1	20,9	20,6
27	0,3	9,9	20,2	5,7	18,5	24,9
28	0,2	8,8	16,8	3,8	22,8	28,1
29	0,7	8,3	19,0	1,6	27,1	29,9
30	0,6	12,4	17,8	2,0	25,7	30,1
31	3,8	17,6	17,8	2,9	20,3	28,8
32	1,8	13,7	16,5	x	x	x
Média	0,8	7,8	14,1	3,5	22,9	23,6
d.p.	4,5	4,7	3,8	3,4	2,1	3,9

Tabela 5. Valores descritivos dos indicadores da posição da linha de costa analisados no SCE do DSAS representam a variação em metros das linhas de costa.

	Mínimo	Máximo	Média	Diferença Máx. – Mín.	Desvio Padrão
Base Escarpa Taquarinhas	0,0	3,8	0,8	3,8	4,6
Base Escarpa Camping da Barra	0,9	8,0	3,5	7,1	3,4
Seca-Molhada Taquarinhas	1,7	17,6	7,8	15,9	4,7
Seca-Molhada Camping da Barra	12	28,4	22,9	16,4	2,2
Espraçamento Taquarinhas	5,9	22,3	14,1	16,4	3,8
Espraçamento Camping da Barra	16,6	30,1	23,6	13,5	3,9

Na figura 18 está a representação gráfica da variabilidade encontrada para os indicadores da posição da linha de costa testados. A variação média na posição da base da escarpa ficou em torno de três metros e meio, e sempre menor que oito metros. A variação máxima na base da escarpa atingiu oito metros, confirmando assim que a variação é mais acentuada nos outros dois indicadores testados. A figura 19 apresenta histogramas das variações encontradas nos indicadores nas praias estudadas.

As feições do grupo dos indicadores da posição da linha de costa que podem ser mais facilmente visualizadas são também os menos precisos, como discutem Pranzini e Rossi (2013), que corrobora com os resultados encontrados neste trabalho. Conforme foi verificado a linha do espraçamento é de fácil visualização, assim, fica indicada para trabalhos que utilizem imagens aéreas. Todavia se mostrou um indicador bastante variável, o que impõe limitações às interpretações dos resultados. A linha seca-molhada se apresenta quase tão variável quanto o espraçamento.

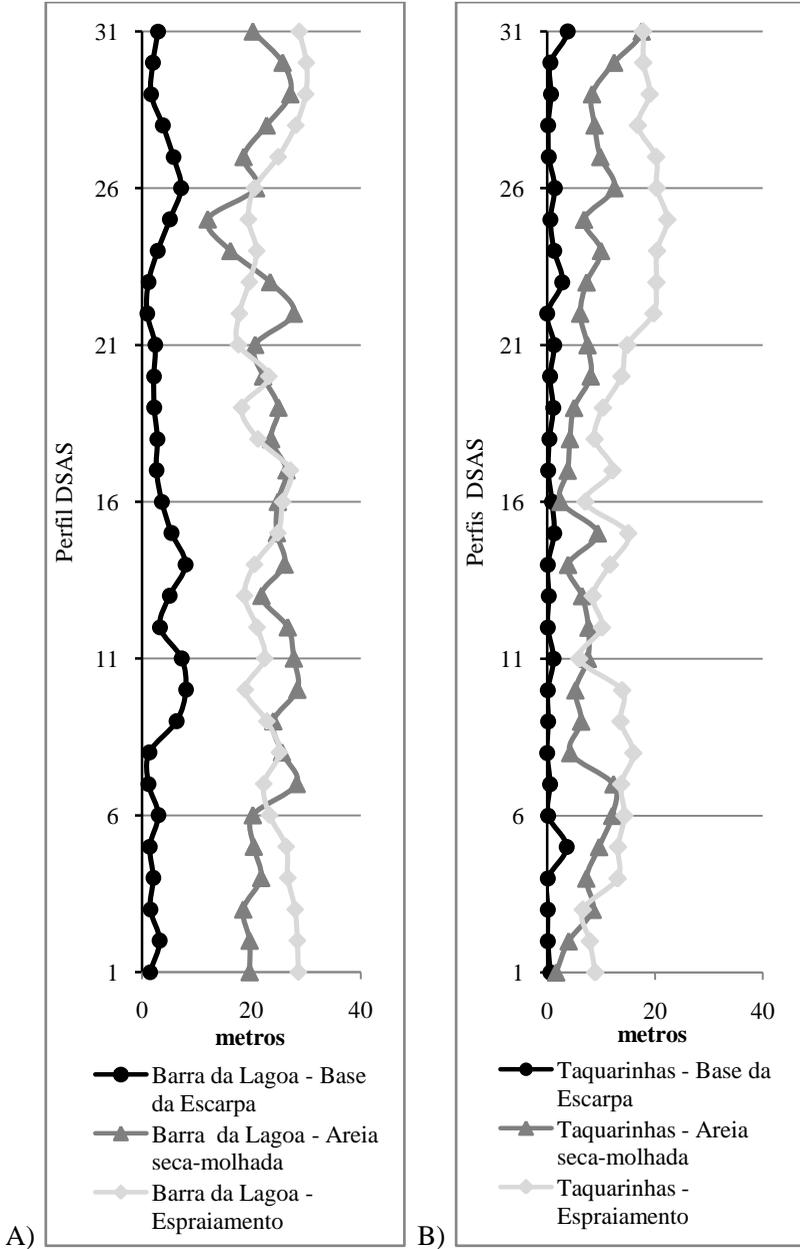


Figura 18. Análise do DSAS 4.0 no método SCE (*Shoreline Change Envelope*), A) Barra da Lagoa; B) Taquarinhas.

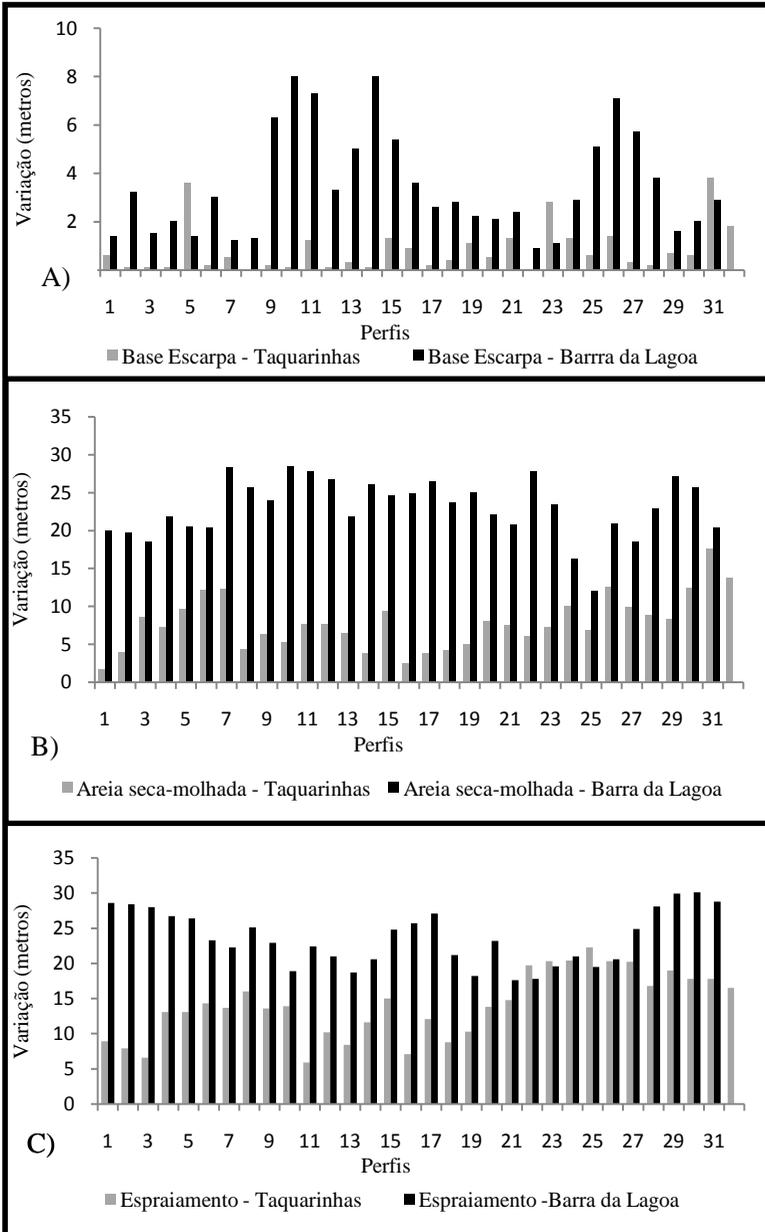


Figura 19. Variações obtidas no DSAS no método SCE, para os indicadores da linha de costa; A) Base da escarpa; B) Areia Seca-molhada; C) Espraimento.

3.2.1 Considerações sobre os indicadores da posição da linha de costa

Durante os caminhamentos do trabalho foram identificados visualmente os indicadores da posição da linha de costa descritos na bibliografia consultada. Em alguns trechos da praia a sobreposição de alguns indicadores chamou atenção (figura 20). Uma consideração que deve ser feita no início dos trabalhos é sobre a forma de identificação dos indicadores da linha de costa (PAJAK; LEATHERMAN, 2002). A grande diversidade de indicadores é o reflexo das forças dinâmicas que incidem sobre as praias, o que imprime na superfície do pacote sedimentar as feições utilizadas como indicadores da posição da linha de costa (PAJAK; LEATHERMAN, 2002).



Figura 20. Indicadores da posição da linha de costa na Barra da Lagoa, sobrepostos na duna escarpada. A) Escarpa de erosão; B) Base da escarpa; C) Topo da escarpa; D) Linha da vegetação; E) Camada paludial turfácea.

Com os indicadores da posição da linha de costa observados em campo, estes foram analisados considerando as colocações de Boak e Turner (2005) e Toldo Jr. e Almeida (2003) a respeito do tema. Na figura 20 é possível observar a escarpa de erosão (A), que apresenta pelo menos dois indicadores, a base da escarpa (B) e o topo da escarpa (C). É possível ainda, que a linha da vegetação (D) esteja associada à escarpa,

assim como o depósito paludial turfáceo (E) que é exposta em períodos erosivos.

Na Barra da Lagoa junto à base da escarpa foi verificado em alguns trechos a exposição de depósitos paludiais com constituição turfácea. Trata-se de um indicador da posição da linha de costa muito particular. A sua formação exigiu condições bastante específicas na dinâmica costeira em escala geológica. No caso da Barra da Lagoa a formação deste depósito segundo Caruso Jr. e Frasson (2000) se deu pela comatação de uma laguna que existiu entre cordões arenosos. Trata-se do registro paleoecológico de um ambiente lagunar formado com influências das oscilações do nível do mar dos últimos cinco mil anos (CARUSO JR.; FRASSON, 2000). A exposição atual dessa camada de turfa apresentando sinais de retrabalhamento recente (figura 21) e sugere um avanço do limite da ação efetiva das ondas do mar em direção a terra.



Figura 21. Blocos de turfa retrabalhados pela ação das ondas de tempestade e depositados após a duna frontal através de uma ruptura de deflação, Barra da Lagoa, junho/2011.

Quando o espraiamento das ondas através das rupturas de deflação ou sobrelavagem, atingem áreas mais interiores a condição ambiental da duna é alterada. Ocorre uma elevação considerável da salinidade e, por consequência, a vegetação acaba suprimida por não suportar o ambiente que tem uma elevação na salinidade, expondo assim

a superfície da duna (HESP et al. 2009). Sem a cobertura vegetal a rugosidade superficial diminui, elevando a atuação dos agentes transportadores que podem gerar ou contribuir para o crescimento de uma ruptura de deflação (HESP, 2002).

A linha da vegetação (figura 22) que se constitui no limite da ocorrência de vegetação em direção à praia, foi considerada por Hoeke, Zarillo e Synder (2001) um bom indicador da posição da linha de costa em trabalhos com interpretações de imagens aéreas. É capaz de indicar variações espaciais tanto de acreção, quanto de erosão. Trata-se de uma linha que varia na escala temporal das estações do ano. Tais variações são apontadas por Peixoto (2005), em seu trabalho com vegetação na duna frontal na Ilha de Santa Catarina.



Figura 22. Linha da vegetação avançando em direção a praia, colonizando a duna frontal. Ponta das Aranhas, agosto/2011.

Quando dunas vegetadas se estabelecem imediatamente no pós-praia, a resultante dos processos de inteiração praia-duna em eventos oceanográficos intensos que removam sedimentos da duna podem deixar expostas raízes e rizomas na escarpa erosiva gerada pela incidência de ondas (figura 23). Após períodos com deposição de sedimentos na praia a duna frontal entra novamente em regeneração, e na continuação desse processo se dá a colonização da duna frontal pela vegetação pioneira.

A linha da vegetação durante esse processo de recuperação se torna pouco discernível, o que dificulta o delinear exato deste indicador. Ainda na figura 22, é possível visualizar o limite da linha de vegetação em uma duna frontal em recuperação natural, com a vegetação pioneira avançando em direção à praia. Nota-se que apesar de ser nítida a fronteira da praia com o início da vegetação, também fica clara a dificuldade em definir exatamente a posição dessa linha.

Nos trabalhos de campo executados para monitoramento da posição da linha de costa, o indicador da linha da vegetação não se efetivou como um indicador de bom desempenho. A linha da vegetação tende a se sobrepor com diferentes feições morfológicas, como o topo da duna, a base da escarpa e mesmo alcançando a berma. Isto dificulta bastante o levantamento. Além disso, em muitos trechos o limite da vegetação coincide com o topo da escarpa e se faz necessário o pisoteamento da vegetação, o que gera impactos na área de estudo.



Figura 23. Escarpa de erosão com a vegetação e raízes que colonizavam a duna frontal recém erodida. Barra da Lagoa, agosto/2011.

Além da linha da vegetação, outras feições podem indicar a posição dessa porção da praia, e tanto a base da escarpa quanto o topo da escarpa também foram avaliados. Segundo Carter (1988) o intenso espraiamento das ondas de tempestade na praia retira o sedimento da parte aérea e o deposita próximo à costa na forma de bancos de areia,

que forcem a quebra das ondas e diminuam a energia que atinge a linha de costa.

Todavia, quando as ondas atingem a duna frontal e a quantidade de sedimentos disponibilizados para conter a energia das ondas for maior que o volume da praia aérea, a retirada destes sedimentos poderá gerar uma escarpa bem definida. Esta situação ocorre rapidamente, no período de apenas algumas horas durante a atuação das ondas e marés de tempestade. A resultante dessa interação gera duas feições que foram avaliadas como indicadores da posição da linha de costa, o topo da escarpa e a base da escarpa.

O topo da escarpa se apresentou como uma feição de fácil identificação e bastante discernível visualmente, constituindo a borda superior da escarpa. É um indicador representado por uma feição inconsolidada e com inclinação abrupta, que ao menor distúrbio físico pode desestabilizar, o que modificará a posição do indicador. Tais modificações são causadas pela incidência das ondas, mas também por outras forças atuantes, como a passagem de veículos ou mesmo o caminhamento realizado para registrar a posição no topo da escarpa.

A avaliação sobre o uso do topo da escarpa como indicador da posição da linha de costa indicou que se trata de uma feição que deve ser evitada na execução de monitoramento da posição da linha de costa. Tendo em vista que, apesar de se destacar na praia, esta é uma feição que pode ser facilmente influenciada por fatores além da dinâmica costeira.

Na escarpa erosiva se destaca a base da escarpa. O termo indica a parte inferior da face marinha da duna frontal erodida. Assim como o topo é uma feição de fácil identificação, bastante discernível visualmente e também apresenta boa continuidade, especialmente em praias com características erosivas. Trata-se de um bom indicador da posição da linha de costa. E pode ser utilizado em monitoramentos costeiros.

A base da escarpa é a expressão do alcance máximo da ação das ondas na praia, ou seja, a linha mais elevada que a água atingiu durante a tempestade. Entretanto, nem sempre é discernível em fotografias aéreas ou imagens de satélite. Pode ser entendida como o limite imposto pela presença da duna frontal à subida do espraiamento das ondas durante tempestades.

É um indicador que apresenta claramente a ocorrência das variações da linha de costa na escala de eventos. Todavia, não é um bom indicador de progradação costeira. A duna frontal necessita de deposição de sedimentos junto à escarpa para reconstituir a duna frontal. Trata-se

de um processo mais lento, com grande influência eólica. Após períodos de calmaria, especialmente na primavera e verão, a vegetação pioneira pode crescer sobre esta feição, gerando uma sobreposição desses indicadores, dificultando o discernimento da feição.

O grupo dos indicadores apontados por Boak e Turner (2005) como das feições discerníveis visualmente, faz referência à posição instantânea da linha de costa na representação mais conceitual dessa linha, ou seja, no limite formado entre a água e a margem das terras emersas. Como principais representantes estão a linha da areia seca-molhada, e a linha do espraimento.

A linha seca-molhada (figura 24) é um indicador da posição da linha de costa discernível visualmente e que varia sua posição ao longo do dia. Está sujeita à influência das marés, da pluviometria, do lençol freático, da insolação e mesmo do vento.



Figura 24. Indicação das distintas fronteiras de umidade na areia, que podem indicar a linha seca-molhada, em uma praia classificada como intermediária. Barra da Lagoa, vista de norte para sul, agosto/2012.

Pajak e Leatherman (2002) através da verificação de registros em vídeo concluíram que a fronteira entre a areia seca e a areia molhada, que genericamente é denominada de *High Water Line* (HWL), é o resultado do espraimento de uma onda que atinge a sua maior expressão vertical na praia. Eventualmente duas ou mais ondas coincidem ao atingirem a mesma posição. É uma fronteira com variação

muito significativa entre os domínios molhado e seco, tanto que pode se apresentar em várias linhas.

A linha do espraioamento (figura 25) é uma linha que varia na escala dos segundos. De acordo com Boak e Turner (2005), reflete o limite instantâneo do máximo alcance da subida da onda na praia. Por definição, é a verdadeira linha de costa pois indica o exato limite onde se encerra o corpo de água e inicia no domínio das terras emersas. Contudo, é um limite muito dinâmico. Sua posição instantânea não pode ser considerada como a representação da condição normal da linha de costa, tão pouco como a condição média.



Figura 25. Indicador da posição da linha de costa no espraioamento das ondas. Barra da Lagoa, vista de Sul para Norte, maio/2012.

A dinâmica da linha de costa no espraioamento das ondas é regida pela influência de fatores como marés, ondas e estágios morfodinâmicos da praia. É na linha do espraioamento que as feições morfológicas da praia são esculpidas em resposta aos agentes da dinâmica costeira, seja na formação de uma berma bem definida ou de uma abrupta escarpa na duna frontal. Conforme exposto por Pajak e Leateman (2002), após eventos de tempestade a linha do espraioamento não deve ser utilizada no registro da posição da linha de costa, para monitoramento em escalas maiores que a de eventos.

3.3 CONCLUSÕES SOBRE A VARIAÇÃO DOS INDICADORES DA POSIÇÃO DA LINHA DE COSTA.

Os indicadores da posição da linha de costa refletem a dissipação da energia das ondas sobre a praia. Alguns dos indicadores mostram claramente o limite de ação dos eventos erosivos mais intensos que atuaram na praia. A linha da vegetação é coincidente com o topo da escarpa, sendo que por vezes avança sobre a berma. O topo da escarpa e a linha da vegetação foram avaliados como pouco apropriados para monitoramentos com obtenção de dados em campo, sendo desaconselhado o uso destes dois indicadores.

Diversos estudos sobre a evolução da linha de costa e predição de linhas de costa futura utilizam como indicador a linha seca-molhada. Esta linha como foi verificado e apresentado na figura 18 (página 75), é o indicador, dentre os investigados neste estudo, que apresentou a maior variação. A posição da linha de costa no indicador da linha seca-molhada apresentou variações de até 30 metros.

Estas variações estão associadas às mudanças elementares que a praia sofre diariamente por influência de fatores astronômicos (marés), atmosféricos (ventos), oceanográficos (ondas) e ainda meteorológicos (insolação). A linha seca-molhada pode inserir grandes erros em estudos que a considerem como indicador posição normal da linha de costa.

A linha do espriamento é entendida como a real interface entre a água e a areia. Representa instantaneamente o máximo da subida da onda na praia, e sua posição varia na escala do instante, tendo em vista que, em poucos segundos, a posição desse indicador pode variar alguns metros. Estando sujeita a influência dos mesmos fatores que afetam a linha seca-molhada. Por isso é indicado que ao utilizar os indicadores relacionados com o nível da água, seja também adotado algum método para correções do nível da maré, a exemplo de Menegucci (2011).

O indicador que apresentou a menor variação, sendo considerado assim o mais estável foi a base da escarpa, que devido ao fato de responder apenas a atuação das ondas mais intensas, é bastante estável e as variações neste indicador representam mudanças significativas na morfologia do pacote sedimentar da praia. Trata-se de uma feição prática e contínua, ideal para registros da posição da linha de costa em campo, o uso desse indicador em interpretações de imagens aéreas se torna bastante difícil e por vezes impossível de ser realizado com confiabilidade. A escolha do indicador deve ser realizada de acordo com os objetivos do trabalho, adequando a escala de análise ao indicador monitorado.

4. EVOLUÇÃO COSTEIRA NA ESCALA DE EVENTOS.

A evolução costeira na escala de eventos (ver figura 1, página 28), segundo Cowell e Thom (1994), é a resposta do ambiente praiial aos processos que ocorrem no intervalo de tempo, a partir de um ciclo de maré, de uma tempestade, ou até de uma estação (sazonal). O comportamento morfológico nesta escala, segundo Swift, Philips e Thorne (1991, Apud COWELL; THOM, 1994, p.36), é o formador das unidades fundamentais das sequências deposicionais. Entretanto, há um consenso de que são as tempestades os maiores agentes das modificações na morfologia costeira (CARTER, 1988).

O monitoramento da evolução costeira segundo Pranzini e Rossi (2013) visa prever o comportamento futuro da costa. Logo, o objetivo deste capítulo é identificar o comportamento morfodinâmico na escala de evento/tempestade das praias de Taquarinhas e Camping da Barra.

Para isso, será adotado o método GPS-RTK testado no capítulo 2, empregando o indicador da posição da linha de costa base da escarpa, o mais estável entre os indicadores analisados no capítulo 3. O levantamento de dados foi realizado concomitantemente a coleta de informações que serviram de base para o desenvolvimento dos capítulos 2 e 3 desta dissertação, onde com a previsão de incidência de ondas com elevada energia eram realizados esforços para registrar os indicadores da posição da linha de costa e da morfologia da praia.

O monitoramento do comportamento morfodinâmico do pós-praia com foco na escala de eventos busca respostas para conhecer direções e características das ondas que possuem maior potencial de alterar o perfil da praia. Para tal fim, levantamentos de perfis transversais à praia e registros da posição do indicador da linha de costa, antes e depois da incidência das ondas previstas foi realizado, o que permitiu verificar as variações morfológicas decorrentes da incidência dos diferentes eventos registrados, no início e ao final dos eventos.

Conhecendo as diferenças morfológicas e em planta da praia para cada período, foram então consideradas as diferentes direções de ondas durante os eventos analisados na busca do entendimento das variações registradas.

4.1 METODOLOGIA DE ANÁLISE DA EVOLUÇÃO COSTEIRA NA ESCALA DE EVENTOS

Juntamente com as atividades voltadas para a análise da evolução costeira na escala de eventos, foi acompanhada a previsão de ondas entre os dias 28 de junho de 2011 e 06 de setembro de 2012. Procurou-se identificar com a maior antecedência a possibilidade de ocorrer um evento com ondas e marés extremas. Foi possível realizar registros em campo em função da ocorrência de um evento no ano de 2011 no Camping da Barra e quatro eventos no ano de 2012. Destes, em duas oportunidades também foram realizados levantamentos na praia de Taquarinhas.

O acompanhamento da previsão de ondas foi realizado através de verificações diárias dos resultados de previsão do modelo Wave Watch III (WWIII). As previsões são disponibilizadas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos climáticos (CPTEC), em sua página na internet <<http://www.cptec.inpe.br/ondas>>. O CPTEC fornece a previsão das ondas com até cento e vinte horas de antecedência. Com o evento a ser monitorado definido, eram realizadas saídas de campo (tabela 6) para levantamentos de dados antes e após o evento, quando da disponibilidade dos equipamentos.

Tabela 6. Atividades de campo realizadas para obtenção de dados.

Data	Local	Evento
15/08/2011	Camping da Barra,	1
28/08/2011	Camping da Barra,	1
10/05/2012	Camping da Barra	2
17/05/2012	Taquarinhas	2
26/05/2012	Camping da Barra.	2
30/05/2012	Taquarinhas	2
27/07/2012	Camping da Barra.	3
03/08/2012	Camping da Barra.	3/4
23/08/2012	Camping da Barra.	4/5
23/08/2012	Taquarinhas	5
04/09/2012	Taquarinhas	5
06/09/2012	Camping da Barra.	5

A efetivação dos registros de campo se deu com o levantamento de perfis transversais à costa e registro da posição da linha de costa, que forneceram informações sobre o volume de sedimentos do perfil que, na análise do evento, indica a quantidade de sedimento remobilizado. A aquisição dos dados dos perfis transversais foi realizada pelo método GPS-RTK, aplicando o posicionamento relativo estático rápido, método confiável, preciso e eficaz, conforme apresentado no Capítulo 2. Os posicionamentos das linhas de costa foram realizados com o método GPS-RTK no posicionamento relativo cinemático em tempo real, mesmo método aplicado na comparação com o DGPS no Capítulo 2 e também utilizado no capítulo 3. O indicador da posição da linha de costa adotado nesta análise foi a base da escarpa, por se tratar de uma feição que proporciona uma representatividade considerável nas respostas da praia frente à incidência de ondas em eventos de alta energia.

As análises da posição da linha de costa foram realizadas em ambiente SIG com utilização da ferramenta DSAS 4.0 (THIELER et al., 2009) que verificou as distâncias entre as linhas de costa. As posições obtidas em campo após espacializadas, foram convertidas de pontos para linha, através da interpolação linear. Estes dados foram armazenados em um banco de dados geográficos (*geodatabase*) e para adequação ao uso da ferramenta DSAS (THIELER et al., 2009) foi necessário inserir informações de referência. As adequações necessárias são descritas detalhadamente nos tópicos de ajuda da ferramenta.

Com as linhas devidamente organizadas e agrupadas, foi realizado análises da variação da linha de costa. Através do método SCE (*Shoreline Change Envelope*) foi obtida a variação métrica da linha de costa. A fim de complementar as análises foi aplicado em seguida o método *Net Shoreline Movement* (NSM), que fornece o valor da distância em metros entre as linhas de costa mais distante e a mais próxima da referência digital (*baseline*) criada para utilização no DSAS. No NSM os resultados com valores positivos indicam movimentos em direção ao mar e valores negativos movimentos em direção as terras emersas (THIELER et al., 2009).

Visando apresentar uma análise mais consistente da variação da posição da linha de costa, os perfis transversais à praia registrados forneceram informações topográficas e volumétricas da praia, aprimorando a confiabilidade das análises da variação da linha de costa. Para tal, os dados dos perfis transversais receberam tratamento matemático com integrais trapezoidais, que devidamente programadas em uma rotina de cálculos computacionais, permitiu transformar um *rol* de valores de posições x , y e z , em valores de distância e cota em relação

a uma posição inicial utilizando a equação 03. Além de calcular o volume (m^3/m) para cada um dos perfis.

Para as análises do comportamento da linha de costa em função da ondas, apesar de se ter considerado os dados da previsão para emitir os alertas do monitoramento, foram utilizados os registros de altura e direção das ondas obtidos pela bóia ID ARGUS 69150 que é mantida pela Marinha do Brasil como parte do programa *Global Ocean Observing System* (GOOS) da UNESCO <<http://www.ioc-goos.org>>. A bóia fica fundeada aproximadamente a cento e quarenta quilômetros da costa ($28^{\circ}30' S$, $047^{\circ}22' W$) a sudeste da Ilha de Santa Catarina (figura 26). Os registros dos dados observados na bóia são disponibilizados na página de internet do Serviço Meteorológico da Marinha do Brasil <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/index.htm>>, que é a instituição responsável pela bóia.

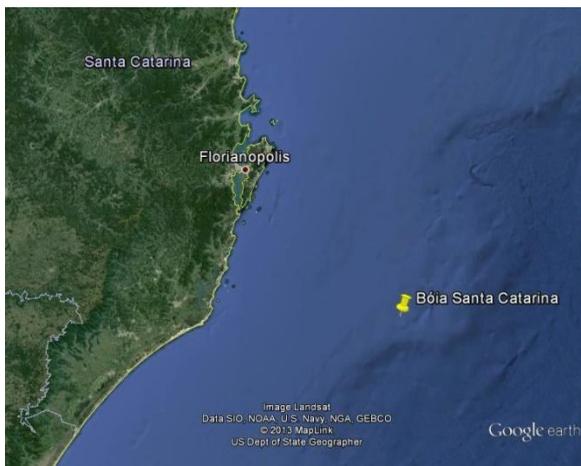


Figura 26. Localização da Bóia ID ARGUS-69150. Fonte: Marinha do Brasil, Imagem: Google Earth.

As variações morfológicas das praias ocorrem em função da incidência das ondas em eventos específicos. Assim, para a análise em curta escala buscou-se conhecer se há distinção nos impactos gerados em resposta a diferentes direções de ondas. Os trabalhos para elaboração da presente análise seguiram os passos indicados no fluxograma apresentado na figura 27. As atividades de campo que forneceram dados para as análises propostas estão listadas na tabela 6, com identificação do local do levantamento, da data da realização da coleta dos dados e a indicação do evento.

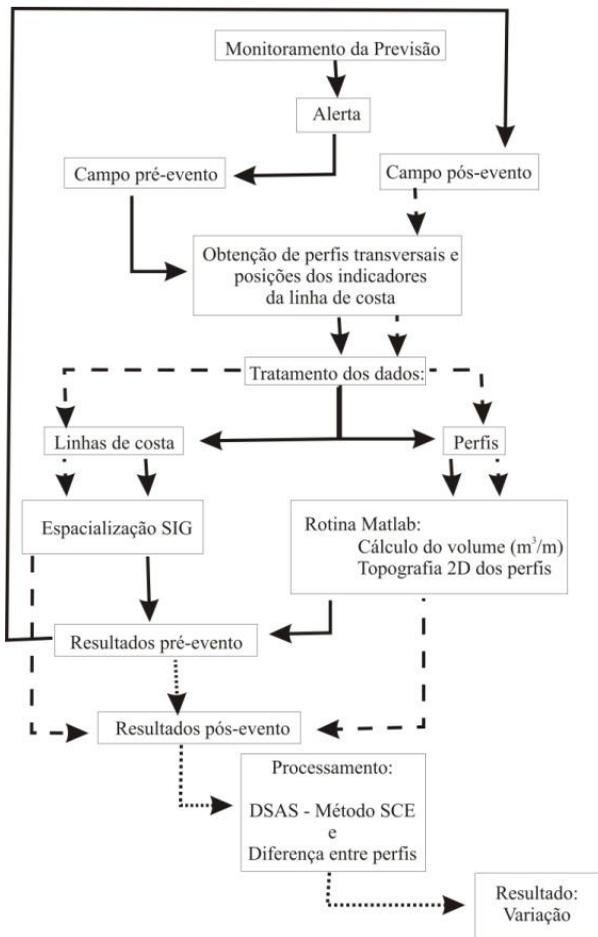


Figura 27. Fluxograma da metodologia para análise da evolução costeira na escala de eventos.

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO COSTEIRA NA ESCALA DE EVENTOS

A análise da evolução costeira na escala de eventos primordialmente, acompanhou a previsão de ondas do modelo Wave Watch III, disponibilizado pelo CPTEC, gerando alertas quando identificados eventos com ondas maiores que 3 metros de altura significativa. As previsões do modelo foram imprescindíveis para as

atividades de campo, pois permitiu monitorar cinco eventos. Todavia, as análises dos dados de ondas utilizou os registros na bóia ARGUS 69.150.

No Camping da Barra na grande maioria dos perfis transversais analisados teve diminuição do volume durante os eventos, sendo que ao final do período do trabalho foi verificado ganhos no volume em todos os perfis. Ao passo que, em valores médios para o mesmo período a variação da linha de costa registrou pequeno (-0,3m) recuo. Em Taquarinhas os registros indicam aspectos dos processos de rotação praial conforme descrito na literatura (KLEIN; BENEDET FILHO; SCHUMACHER, 2002).

4.2.1 Ondas registradas em águas profundas

Os registros das ondas realizados na bóia ARGUS 69150 e obtidos pela internet na página da Marinha do Brasil, possibilitaram uma descrição das direções e alturas das ondas em águas profundas durante os eventos monitorados. Apesar das transformações sofridas pelas ondas em águas rasas, os valores apresentados indicaram as grandes energias que se dirigiam à costa, o que pode ser observado na figura 28, juntamente com as alturas das ondas previstas para os eventos monitorados.

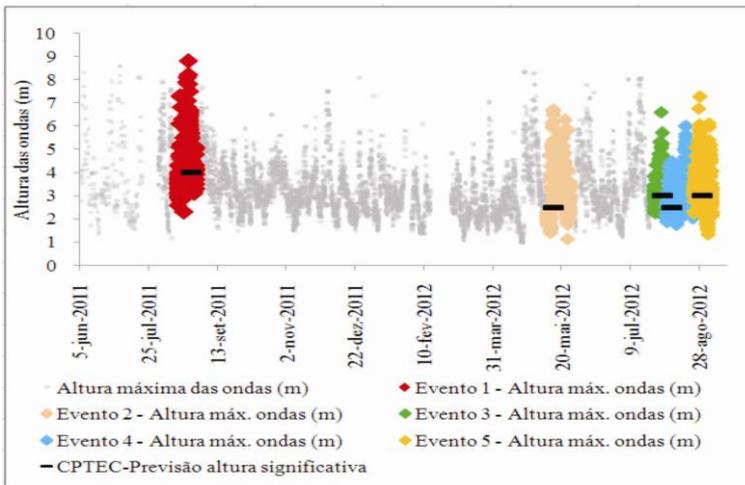


Figura 28. Alturas de ondas registradas pela bóia ARGUS, com destaques nas alturas máximas das ondas nos eventos estudados. Fonte: Marinha do Brasil.

4.2.1 Evento 1

O período entre 15 e 28 de agosto de 2011 foi considerado como o evento 1 (figura 29). Nestes quatorze dias, os registros na bóia indicam ondas provenientes do leste e sudeste, com altura em torno de dois metros, com a direção de ondas passando a nordeste e perdendo intensidade durante o dia dezessete. No final do dia dezessete os registros indicaram ondas provenientes do sul e sudoeste com alturas máximas que ultrapassaram os sete metros. As direções passaram gradativamente para sudeste até leste no dia vinte e cinco, com a altura das ondas diminuindo. Os maiores registros se mantiveram com máximos em torno de três metros até o dia vinte e oito, quando foi realizado o levantamento posterior ao evento, registrando a condição morfológica no pós-evento.

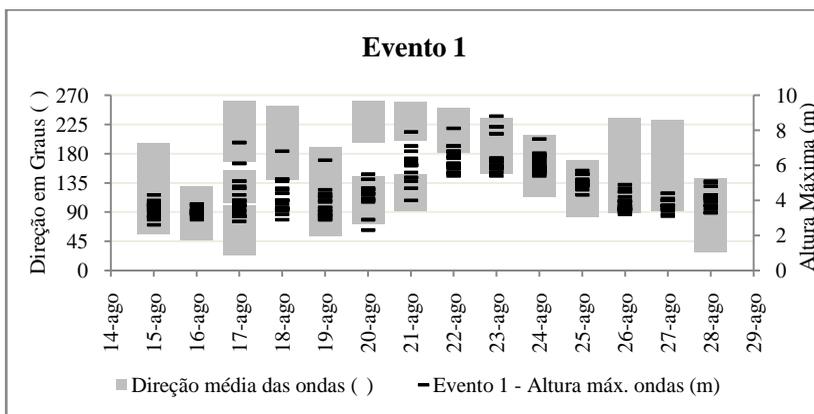


Figura 29. Registros de ondas da bóia durante o evento 1; no eixo principal a direção média das ondas em graus e no eixo secundário altura máxima das ondas em metros. Fonte: Marinha do Brasil.

Nesse evento, como em todos os seguintes foram registradas informações da posição da base da escarpa e dos perfis transversais do Camping da Barra. Os perfis estão apresentados em gráficos bidimensionais no Apêndice A, onde se visualizam as diferenças verificadas. Os resultados da análise do volume (m^3/m) dos perfis transversais estão listados na tabela 7, onde se verifica a redução do volume em todos os perfis obtidos no evento 1.

As variações negativas registradas nos perfis transversais, são refletidas nas análises em planta da variação da posição da linha de

costa, realizadas com o DSAS. As análises empregaram o método NSM (figura 30). O resultado apresenta a variação da linha de costa em metros. O sentido da variação é indicado pelo sinal, sendo que nos resultados os valores negativos representam o movimento da linha de costa em direção a terra, e valores positivos movimentos em direção ao mar (THIELER et al., 2009).

Tabela 7. Volumes (m^3/m) dos perfis nos levantamentos para o monitoramento do evento 1 e respectiva diferença verificada.

Perfil / Campo	15-ago-2011	28-ago-2011	Diferença
P08	65,5	56,4	-9,1
P09	72,6	69,1	-3,5
P10	73,0	69,1	-3,9
P11	58,0	51,3	-6,7
P12	39,6	33,1	-6,5
P13	73,9	71,7	-2,2

A análise da posição da linha de costa no DSAS aponta variações máximas em torno de dois metros, variação mínima igual a zero. No evento 1 a variação média da linha de costa foi de -0,5m. Os resultados negativos na análise da linha de costa com o método NSM (figura 30), indicam a movimentação da base da escarpa terra adentro. Comportamento coerente com a redução do volume verificada nos perfis transversais no mesmo período. Isto indica que esse evento, com ondas de altura máxima superior a oito metros provenientes de sul-sudoeste, causaram retirada do sedimento do pós-praia.

Nos resultados do NSM é possível visualizar as variações negativas da linha costa quando da incidência do evento 1. A principal característica deste evento foram as ondas provenientes do Sul-Sudoeste por quatro dias mantendo as alturas máximas superiores aos seis metros, ultrapassando por vezes os oito metros de altura máxima.

Divergências na interpretação dos limites do indicador da posição da linha de costa causaram uma variação positiva aparentemente inexistente, registrada no perfil DSAS 11, o que indica uma possível falha no discernimento da feição pelo operador da antena móvel. Assim, fica o destaque sobre os erros inerentes a interpretação do ambiente, que podem fornecer informações inverídicas para o processamento, como as identificadas durante a interpretação dos dados.

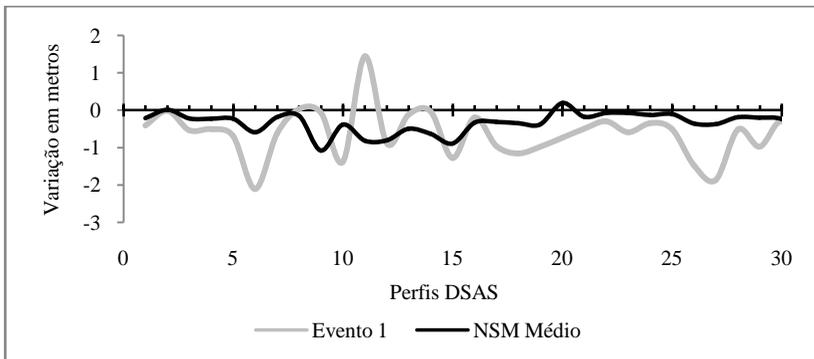


Figura 30. Variações obtidas em análises da linha de costa no DSAS, empregando o método NSM, que verifica a diferença entre duas linhas.

Assim, foi verificado que no evento 1 as ondas, apesar das elevadas alturas, influenciaram pouco a linha de costa. Na figura 31A, com detalhe na figura 31B, se verificam na espacialização as linhas de costa pré e pós evento.

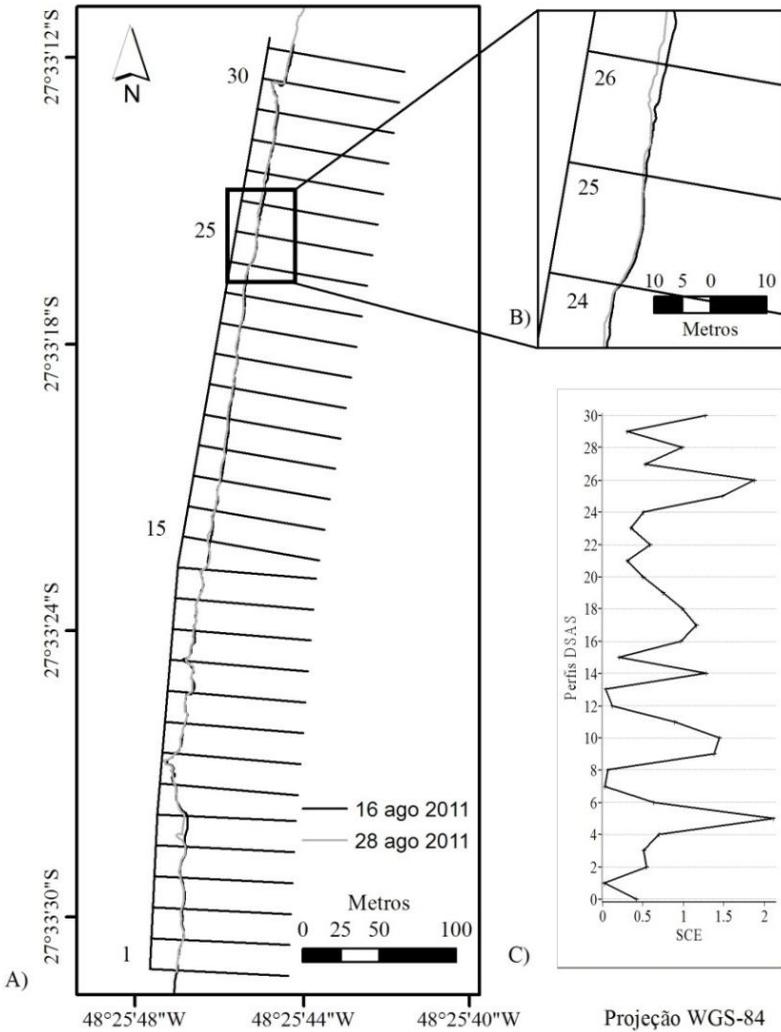


Figura 31. Variação da base da escarpa em metros no evento 1, A) dados registrados antes e depois do evento, indicação dos perfis DSAS em 1, 15, 25 e 30, B) Detalhe da variação do indicador nos perfis DSAS 24, 25 e 26, C) Gráfico da variação analisadas pelo método SCE no DSAS.

4.2.2 Evento 2

O evento 2 foi considerado como o período entre 10 e 30 de maio de 2012, período para o qual ocorreu previsão de ondas provenientes de Sul-Sudoeste com mais de três metros de altura significativa. Nessa oportunidade ocorreu levantamentos de campo com registros da morfologia nos dias 10 e 26 de maio de 2012 no Camping da Barra e nos dias 17 e 30 de maio de 2012 na praia de Taquarinhas.

Os registros de ondas no período mostraram as maiores alturas verificadas ao longo de dez dias (4 m), provenientes do quadrante sul-sudoeste. As direções iniciaram vindo de sul girando no sentido anti-horário para o quadrante sudeste, passando a leste atingindo direções vindas de nordeste, perdendo intensidade e gradativamente diminuindo a altura (figura 32).

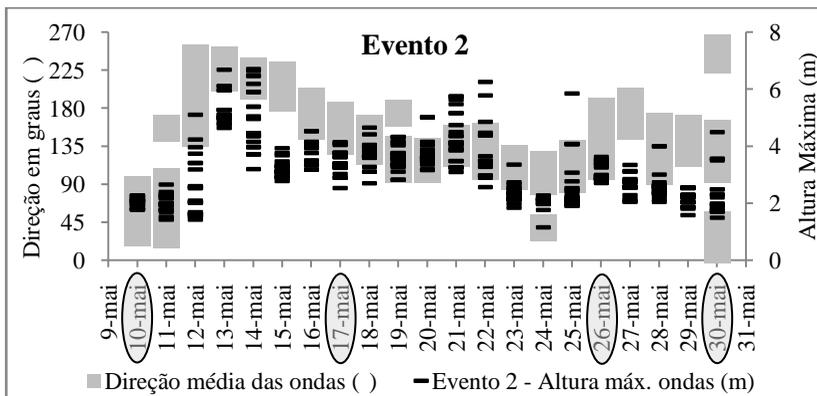


Figura 32. Registros de ondas da bóia durante o período do evento 2(Fonte: Marinha do Brasil). No eixo principal a direção média das ondas em graus e no eixo secundário altura das ondas em metros. Nos destaques as datas de realização dos campos no Camping da Barra e Taquarinhas.

A resposta verificada nos perfis transversais (apêndice B) ao evento 2 foi a diminuição do volume em todos os perfis observados, tanto na praia intermediária (Camping da Barra) que apresentou as maiores variações (tabela 8), como na praia reflectiva (Taquarinhas), que apesar de apresentar uma variação bastante discreta na porção central (tabela 9), registrou diminuições cinco vezes maiores nos extremos da praia de Taquarinhas. Novamente neste evento, assim como no evento 1, foi verificada a redução do volume em todos os perfis topográficos monitorados.

Tabela 8. Volumes (m^3/m) dos perfis no Camping da Barra no monitoramento do evento 2, com as respectivas diferenças.

Perfil / Campo	10-mai-2012	26-mai-2012	Diferença
P08	88,8	70,8	-18
P09	97,1	85,0	-12,1
P10	104,6	77,0	-27,6
P11	86,5	63,4	-23,1
P12	73,5	49,9	-23,6
P13	108,2	88,7	-19,5

Em Taquarinhas, na realização do registro da posição da base da escarpa ao final do período do evento 2, houve uma falha na interpretação da feição base da escarpa pelo operador da antena móvel. O que resultou no registro de feição semelhante, porém na base logo abaixo da crista da berma e acima do espraiamento, impossibilitando a análise da variação da linha de costa neste evento, sem interferir nas análises volumétricas dos perfis transversais.

Tabela 9. Volumes (m^3/m) dos perfis de Taquarinhas no monitoramento do evento 2, com as respectivas diferenças.

Perfil / Campo	17-mai-2012	30-mai-2012	Diferença
P01	151,5	138,0	-13,5
P02	160,4	158,1	-2,3
P03	172,0	159,5	-12,5

A análise NSM indicou movimentos negativos da base da escarpa ao longo do Camping da Barra (figura 33), as variações na posição da linha de costa ultrapassaram os quatro metros em alguns perfis DSAS. Destacam-se as variações na área onde a duna frontal está degradada e sem vegetação, com características do desenvolvimento de ruptura de deflação (figura 34). Esta morfologia indica maior ação marinha e eólica no transporte sedimentar neste ponto da praia. A variação ocorrida entre os perfis DSAS 7 a 16 (figura 35) apontam avanço da linha de costa em direção as terras interiores.

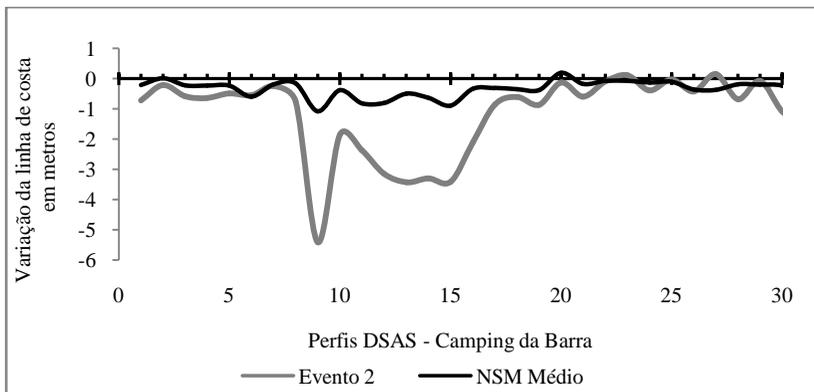


Figura 33. Variações do evento 2 obtidas em análises da linha de costa no DSAS, empregando o método NSM.



Figura 34. Camping da Barra - duna frontal descaracterizada junto ao estacionamento, área coincidente com perfis DSAS 08 a 12, após o evento 2. Imagem: Alexandre Schweitzer.

Em Taquarinhas o evento dois foi marcado pela redução do volume de areia em todos os perfis estudados, com destaque para o perfil dois, onde a redução no volume foi de apenas $2,3 \text{ m}^3/\text{m}$, o que representa cerca de 1,4% do volume inicial, enquanto nos perfis um e três localizados em extremos opostos da praia a diminuição na quantidade de sedimentos na praia foram de 8,8% e 7,2%, respectivamente.

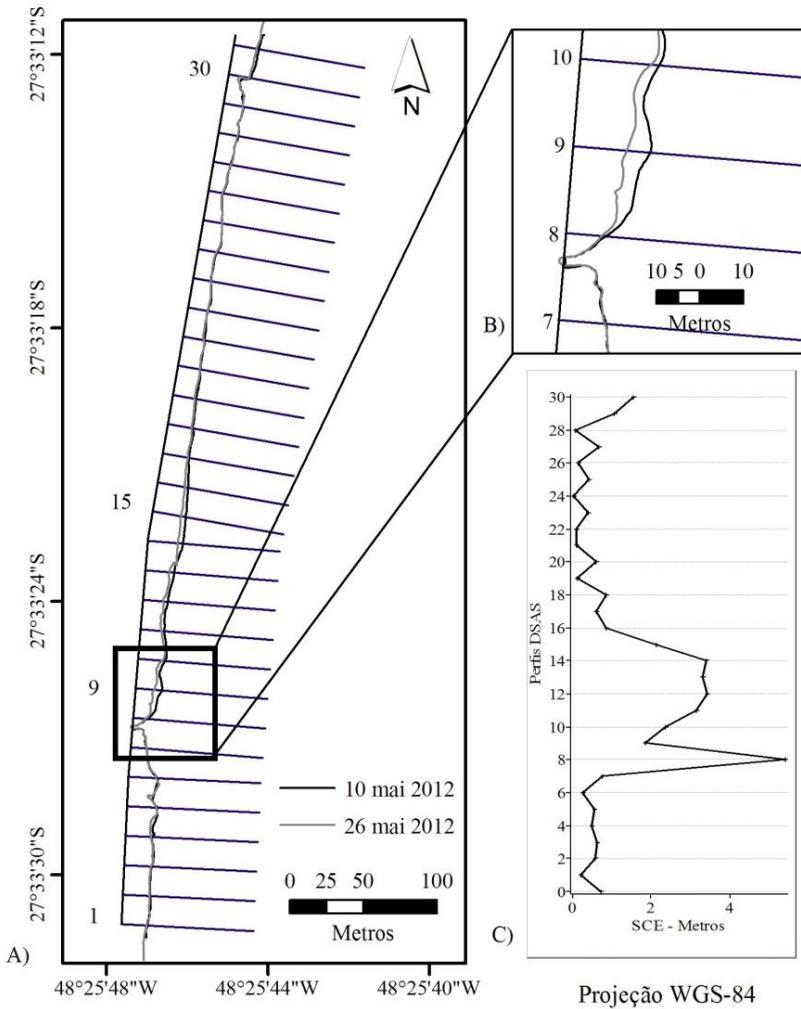


Figura 35. Variação da base da escarpa em metros no evento 2, no Camping da Barra, A) Dados registrados antes e depois do evento, indicação dos perfis DSAS em 1, 9, 15 e 30; B) Detalhe da variação do indicador nos perfis DSAS 7 a 10; C) Gráfico da variação analisada pelo método SCE no DSAS.

4.2.3 Evento 3

O evento 3 foi o mais curto, ocorreu entre os dias 26 julho e 03 de agosto de 2012 (figura 36). As ondas predominantes nesses dias foram as vindas de sul. Todavia as maiores alturas ocorreram quando as ondas passaram a apresentar direção sudeste, com picos próximos dos seis metros de altura. As ondas perderam altura conforme a direção passou a incidir do leste. Destacando o registro de ondas com direções entre norte e nordeste no dia 29, com alturas se mantendo elevadas quando a direção passou para leste.

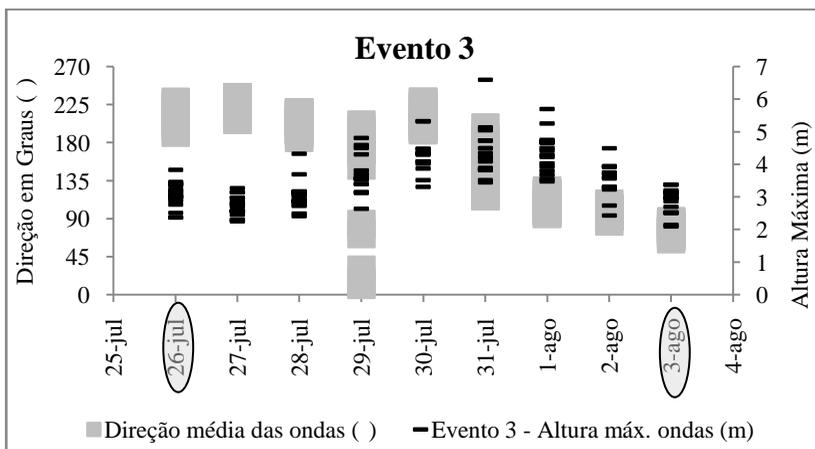


Figura 36. Registros de ondas da bóia ARGUS durante o período do evento 3; no eixo principal a direção média das ondas em graus e no eixo secundário altura das ondas em metros. Fonte: Marinha do Brasil.

Os perfis transversais (Apendice C) apresentaram comportamentos distintos neste evento. As variações no volume dos perfis ficaram entre -9 e 5,6 m³/m (tabela 10). Para este evento o perfil DSAS 10 se destacou devido a alta mobilidade registrada, com movimento em direção às terras interiores. Evidências apontam a ocorrência de sobrelavagem por ondas em alguns locais (figura 37), onde após ultrapassar a duna frontal o espraçamento da onda avançou por diversos metros até percolar completamente no solo arenoso salinizando-o e comprometendo a manutenção da vegetação nestes locais, o que pode desencadear a evolução de rupturas de deflação.

Tabela 10. Volumes (m³/m) dos perfis no Camping da Barra no monitoramento do evento 3, com as respectivas diferenças.

Perfil / Campo	27-jun-2012	03-ago-2012	Diferença
P08	76,3	73,7	-2,6
P09	90,9	89,9	-1,0
P10	85,4	87,7	2,3
P11	70,3	64,1	-6,2
P12	51,6	57,2	5,6
P13	97,3	88,3	-9,0



Figura 37. Registro dos efeitos da sobrelavagem das ondas através da duna frontal em direção as terras interiores. Barra da Lagoa, agosto/2012.

As variações na posição da linha de costa seguiram um comportamento estável neste evento, ficando muito próximas a zero, exceto nas proximidades do perfil DSAS 11 (figura 38). Neste perfil a ruptura na duna frontal teve destaque na variação da posição da linha de costa. No perfil DSAS 29 foi verificada a variação positiva em torno de um metro, indicando avanço da linha de costa em direção ao mar. Todavia tal avanço pode ser associado ao desmoronamento da escarpa que espalhou areia da duna frontal sobre o pós-praia, modificando a posição do indicador.

O comportamento dos perfis transversais frente às ondas registradas no evento três ocorreu de forma bastante variável entre os perfis. As variações positivas e negativas intercaladas podem estar associadas a uma estabilidade na posição da linha de costa, considerando a variação média igual a zero. As maiores variações registradas ocorreram nos perfis DSAS 10, 15 e 29 (figura 39).

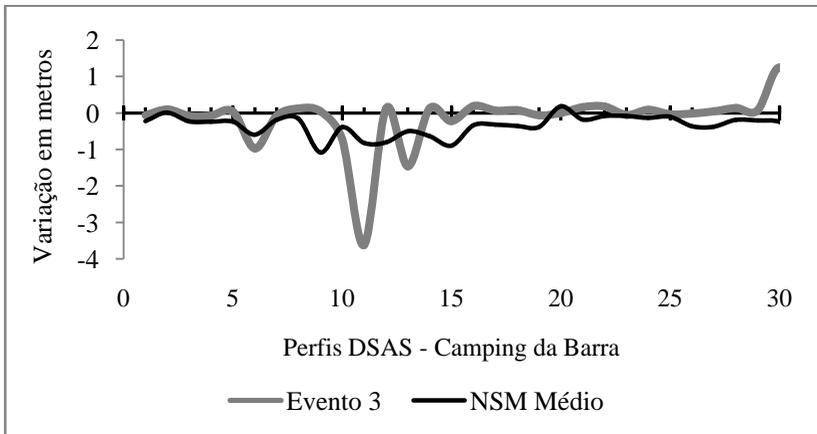


Figura 38. Variações da linha de costa no Camping da Barra o evento 3 obtidas em análises da linha de costa no DSAS, empregando o método NSM.

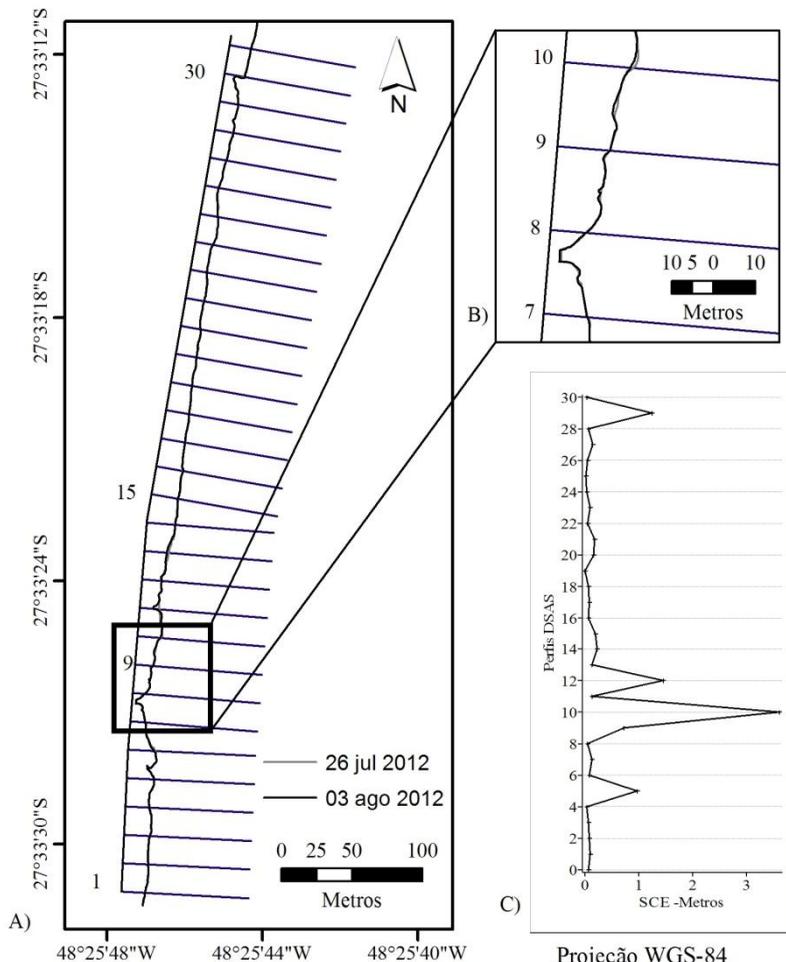


Figura 39. Variação da posição da linha de costa (base da escarpa) em metros no evento 3 no Camping da Barra, A) Dados registrados antes e depois do evento, indicação dos perfis DSAS em 1, 9, 15 e 30; B) Detalhe da variação do indicador nos perfis DSAS 7 a 10, C) Gráfico da variação analisadas pelo método SCE no DSAS.

4.2.4 Evento 4

O evento 4 corresponde ao período entre os dias 03 e 23 de agosto de 2012 (Figura 40). Neste período as ondas alcançaram as maiores alturas quando eram provenientes do leste, o que diferencia este evento dos anteriores. Nestes dias as maiores ondas de leste registradas ultrapassaram os seis metros de altura máxima.

O destaque deste evento fica para o número de dias em que permaneceu a agitação marinha. No início do evento 4 as ondas passaram a ganhar altura com a mudança da direção para sul, atingindo quatro metros de altura máxima, e decrescendo com o tempo conforme a direção passou para leste-nordeste. Conforme a direção se define de leste as alturas atingem picos máximos de até seis metros. Ainda com direção de leste as ondas perdem altura, quando se encerra o monitoramento do evento.

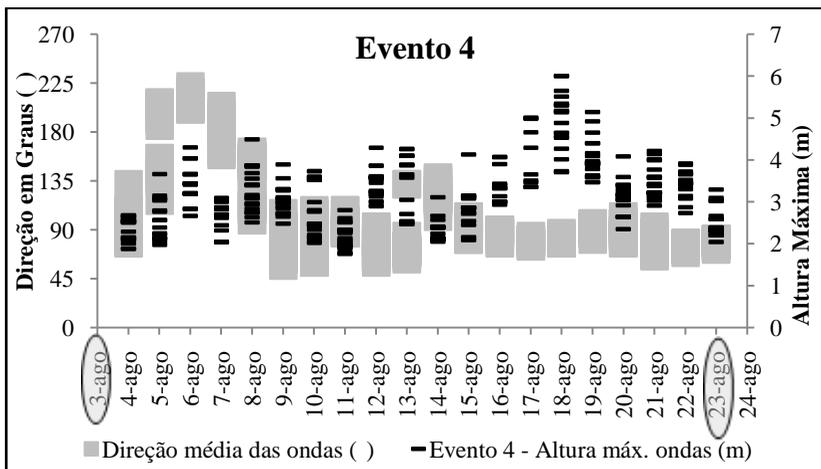


Figura 40. Registros de ondas da bóia ARGUS durante o período do evento 4; no eixo principal a direção média das ondas em graus e no eixo secundário altura das ondas em metros. Fonte: Marinha do Brasil.

A atuação das ondas de leste neste evento não acarretaram modificações bruscas na praia. Mesmo com as variações negativas do volume que podem ser verificadas na tabela 11, a praia se manteve estável. Não houve variação na posição da linha de costa, pois o valor médio do NSM (figura 41) foi igual a zero, o que demonstrou a

estabilidade na posição da linha de costa no decorrido evento com ondas provenientes de leste por mais de dez dias.

Tabela 11. Volumes (m³/m) dos perfis na Barra da Lagoa no monitoramento do evento 4, com as respectivas diferenças.

Perfil / Campo	03-ago-2012	23-ago-2012	Diferença
P08	73,7	72,1	-1,6
P09	89,9	90,7	0,7
P10	87,7	85,6	-2,0
P11	64,1	69,4	5,3
P12	57,2	55,8	-1,5
P13	88,3	87,1	-1,2

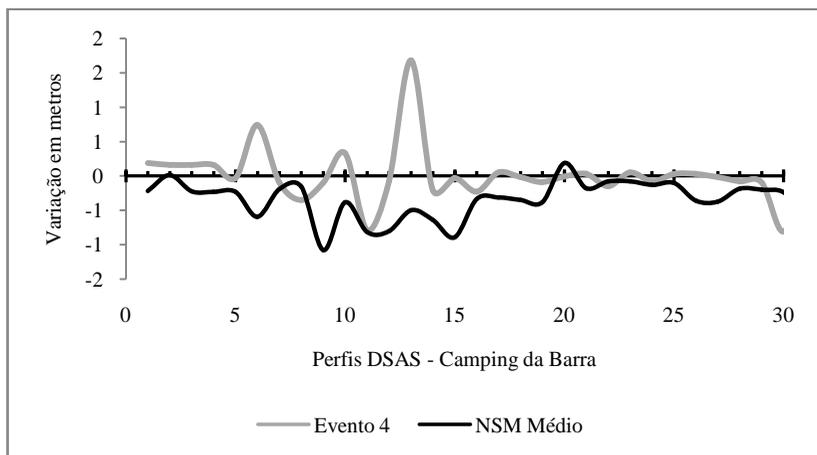


Figura 41. Análise do NSM no evento 4, na Barra da Lagoa.

A linha de costa na Barra da Lagoa se manteve estável, mesmo com ondas de seis metros de altura máxima e direção leste. Deve ser considerado o fato de que as ondas permaneceram por três dias seguidos, dias 05, 06 e 07 de agosto de 2012, com as maiores alturas registradas no evento. O resultado do processamento no SCE (figura 42C) pelo DSAS indicou que a maior variação deste evento foi de pouco mais de 1,5 metros. Sendo entendida como estável para um evento com ondas de leste.

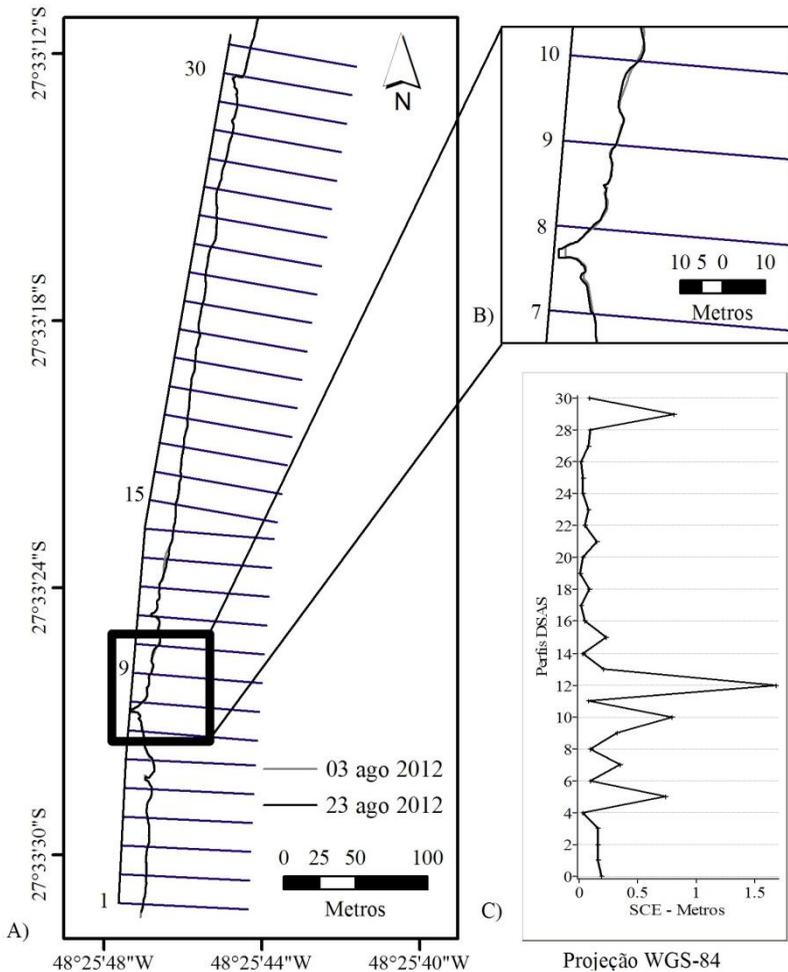


Figura 42. Variação em metros do indicador da posição da linha de costa Base da escarpa no evento 4, no Camping da Barra, A) Dados registrados; B) Detalhe dados registrados; C) Variação da linha de costa calculada pelo SCE no DSAS..

4.2.5 Evento 5

O evento 5 foi considerado como o período entre os dias 24 de agosto e 6 de setembro de 2012 (figura 43), com monitoramento praial realizado no Camping da Barra, e também em Taquarinhás. As ondas registradas nesses dias passaram de uma condição com ondas de leste à nordeste, aumentando as alturas conforme as direções passaram a sul-sudoeste, com a altura máxima registrada acima de seis metros. Em seguida as ondas perderam altura conforme giram para leste novamente. As ondas ganham altura conforme passam a ser provenientes do sul, até perder novamente intensidade conforme a direção passou à sudeste e posteriormente para leste. Mais uma vez o cenário com diminuição das alturas acompanhando o giro anti-horário da direção das ondas, se repetiu.

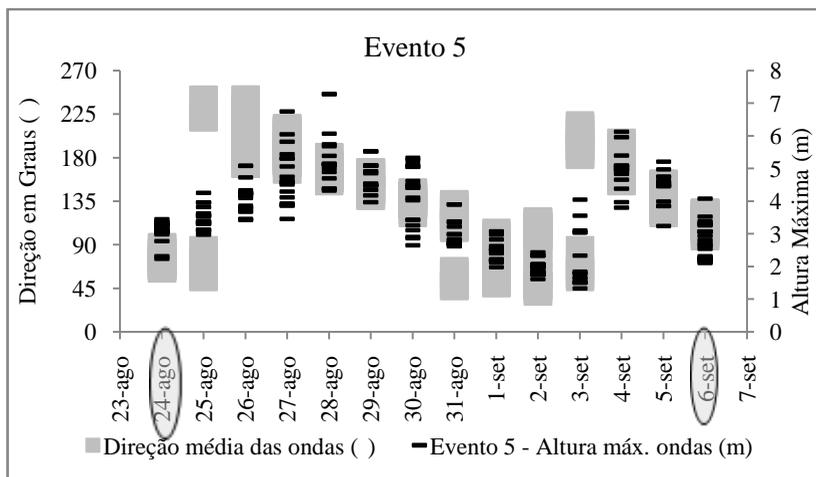


Figura 43. Registros de ondas da bóia ARGUS durante o período do evento 5; no eixo principal a direção média das ondas em graus e no eixo secundário altura das ondas em metros. Fonte: Marinha do Brasil.

No período do evento cinco, os perfis transversais à praia registraram variações distintas (tabela 12, 13), com ganho de volume em um dos perfis e diminuição nos demais. Foi registrada a diminuição quase nula de $-0,2 \text{ m}^3/\text{m}$ no perfil transversoal “P10” (Apêndice E). Neste período foi verificado um pequeno avanço da base da escarpa em direção ao mar, possivelmente à estabilidade do indicador que, somado

ao acúmulo pontual de sedimentos depositados pelo vento na base da escarpa, influenciaram o resultado positivo do NSM.

Tabela 12. Volumes (m³/m) dos perfis no Camping da Barra no monitoramento do evento 5, com as respectivas diferenças.

Perfil / Campo	23-ago-2012	06 – set - 2012	Diferença
P08	72,1	76,1	4,0
P09	90,7	87,4	-3,3
P10	85,6	85,4	-0,2
P11	69,4	66,4	-3,0
P12	55,8	52,1	-3,7
P13	87,1	91,4	4,4

Tabela 13. Volumes (m³/m) dos perfis de Taquarinhas no monitoramento do evento 5, com as respectivas diferenças.

Perfil / Campo	23-ago-2012	06 – set - 2012	Diferença
P01	107,6	133,1	25,5
P02	157,2	157,9	0,7
P03	183,7	172,1	-11,6

As variações verificadas no volume dos perfis das praias indicaram ganhos e perdas de volume ao longo da praia, apresentando certa estabilidade no perfil central, com pequeno acréscimo no volume. No Camping da Barra, a linha de costa recuou em média -0,3m (figuras 44, 46), enquanto em Taquarinhas (figuras 45 à 47) foi verificado que a linha de costa manteve-se estável, com variação média de 0,1m. Os resultados gráficos dos perfis seguem no Apêndice E, onde se percebe as diferentes modificações morfológicas dos perfis.

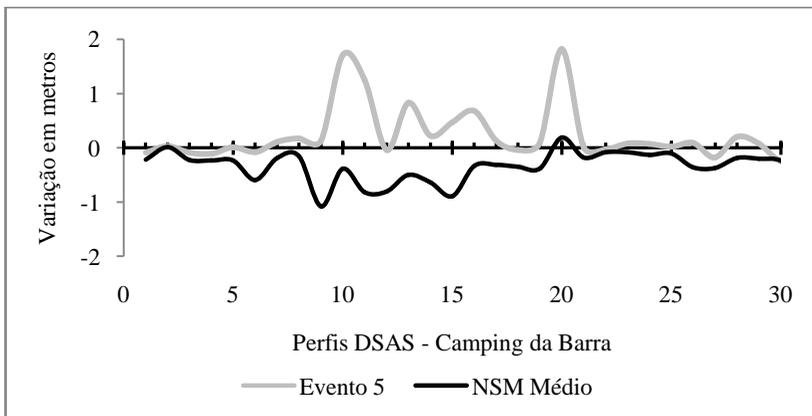


Figura 44. Análise do resultado do NSM no evento 5, para a Barra da Lagoa.

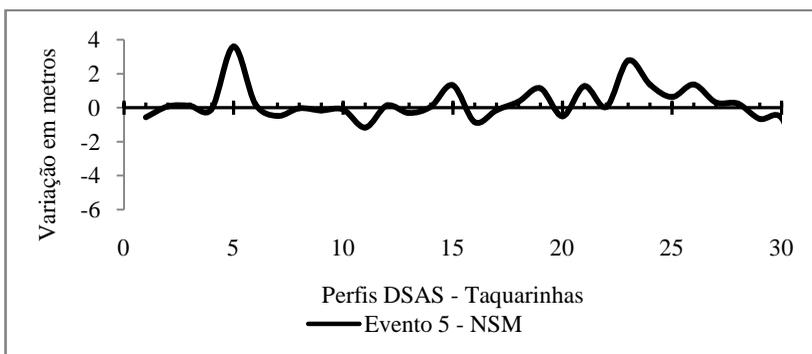


Figura 45. Análise do resultado do NSM no evento 5, para Taquarinhas.

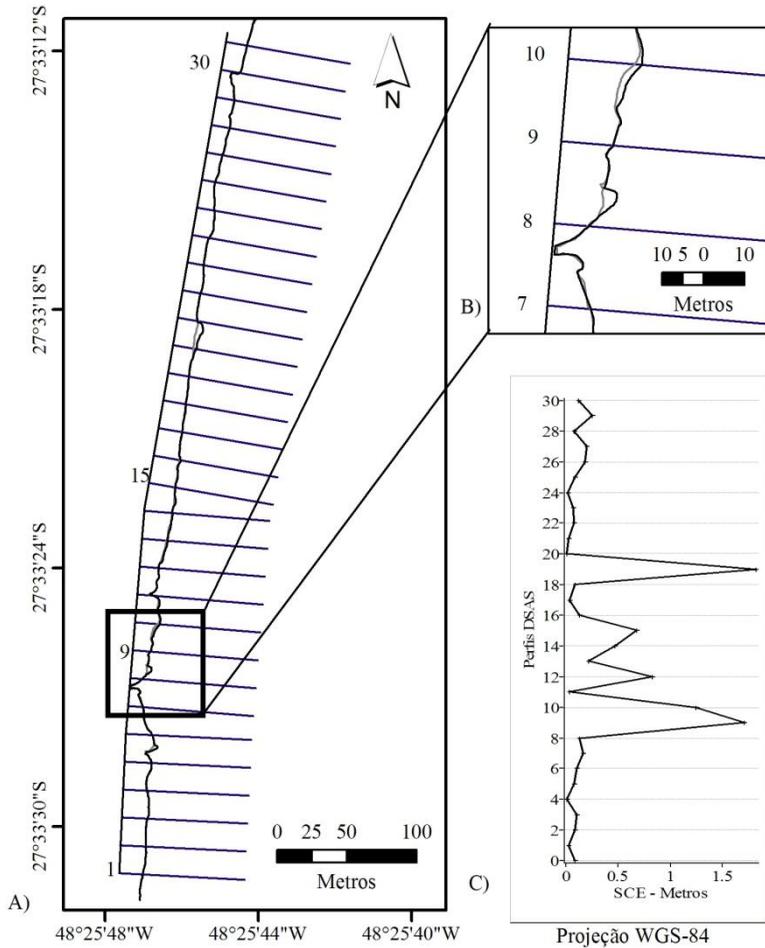


Figura 46. Indicador da variação em metros da posição da linha de costa - Base da escarpa no evento 5 monitorado no Camping da Barra, A) Dados registrados; B) Detalhe dados registrados; C) Variação da linha de costa.

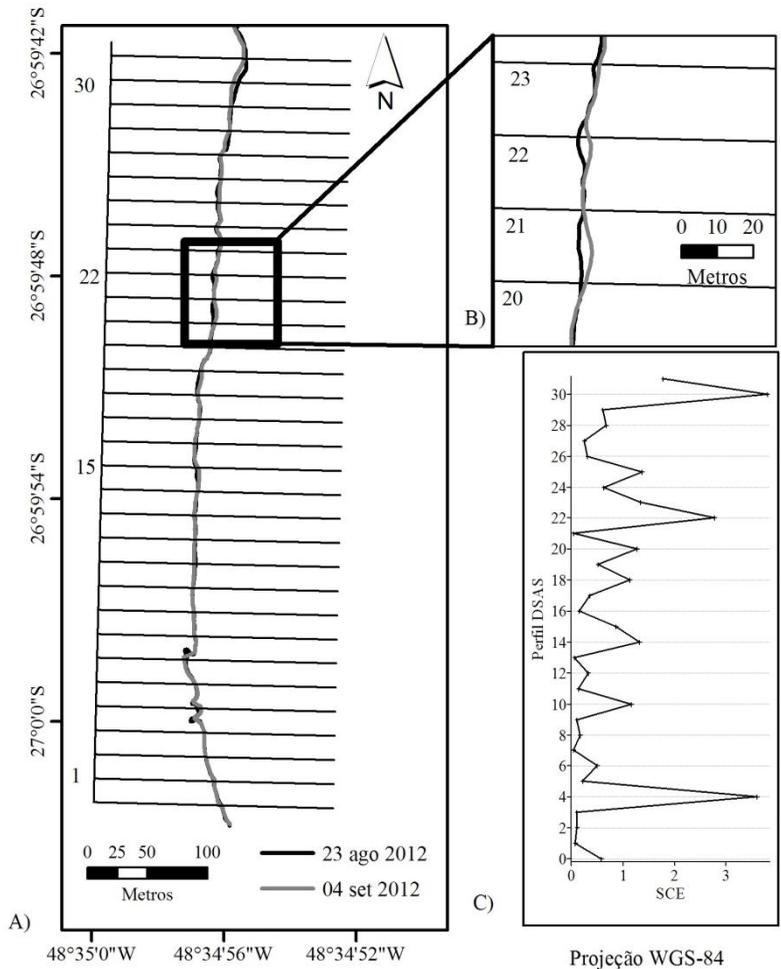


Figura 47. Linha de costa de Taquarinhas - base escarpa no evento 5, A) Dados registrados; B) Detalhe dados registrados; C) Variação da linha de costa.

4.3 DESTAQUES DO MONITORAMENTO NA ESCALA DE EVENTOS

Identificar as variações que ocorrem nas praias na escala de eventos, assim como os demais estudos em praias arenosas, trata-se de um grande desafio. Primeiramente deve ser definido qual tipo de evento será monitorado. A escala de eventos abrange desde períodos da variação sazonal nas quatro estações do ano (primavera, verão, outono, inverno), até eventos com apenas algumas horas, como as modificações no nível da maré (KING, 1972). Respectivamente correspondem ao maior e menor dos períodos considerados na escala de eventos na morfodinâmica costeira (COWELL; THOM, 1994). Assim a escala de eventos adotada neste trabalho faz referência ao período de alguns dias, em razão da incidência de ondas.

Foi verificado que variações negativas ocorreram em todos os eventos monitorados no Camping da Barra. Foi possível perceber que as variações positivas são pontuais. A variação da linha de costa registrada no período do estudo entre junho de 2011 e setembro de 2012 foi negativa.

Ao comparar os resultados da variação da posição da linha de costa (apêndice H) com as variações volumétricas (apêndice I), percebe-se que a linha de costa teve o NSM médio de -0,3m, indicando um avanço em direção às terras emersas. Ao mesmo tempo o pós-praia apresentou ganhos de volume, quando considerada a evolução ao longo de todo o período monitorado. A redução do volume dos perfis frente à incidência das ondas durante os eventos é o comportamento esperado, pois o sedimento do pós-praia e da duna frontal é disponibilizado para a formação dos bancos que dissipam a energia das ondas. Assim como é esperado o retorno do sedimento ao pós-praia nos períodos de baixa energia (SHORT, 1999).

Embora as análises da posição da linha de costa na praia de Taquarinhas não tenham apresentado resultados conclusivos por conta dos erros associados a identificação da feição indicadora da linha de costa, os perfis transversais indicaram as variações volumétricas que essa praia reflectiva está sujeita, mesmo em aparente equilíbrio.

Para alcançar uma melhor compreensão do comportamento morfodinâmico na escala de eventos com alguns dias de duração, o monitoramento deve obter dados da morfologia da praia diariamente. O presente estudo constatou que os períodos entre os registros no pré e pós evento foram longos demais, o que prejudicou a interpretação dos

resultados na forma proposta e impossibilitou associar as direções de ondas com as respostas morfológicas no pós-praia.

Nas análises da variação da linha de costa no DSAS deve ser utilizado uma densificação maior de perfis. Neste estudo foi adotado o espaçamento de vinte metros. Foi observado que entre os perfis estabelecidos ocorreram variações não registradas. Tais variações poderiam modificar os resultados da análise da linha de costa. A realização de testes com espaçamentos menores ficam sugeridos para trabalhos futuros. Ressaltando que densificar as análises, acarretará na maior demanda computacional. Todavia o DSAS é uma extensão que exige poucos recursos computacionais para executar o processamento das informações. Tal densificação pode melhorar a interpretação das variações abruptas registradas na posição da linha de costa. Possibilitará assim uma análise mais apurada da variação da morfologia costeira.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho avaliou métodos de estudo e indicadores de mobilidade da posição da linha de costa aplicados na investigação na escala de eventos. O trabalho focou duas praias com diferentes características ou estágios morfodinâmicos (intermediária e reflectiva). Foram verificadas algumas possibilidades práticas de registro da morfologia costeira através de comparações entre métodos. O método DGPS foi comparado com o método GPS-RTK no registro da posição da linha de costa. A outra comparação realizada foi entre o método GPS-RTK e o método de nivelamento geométrico na obtenção de registros dos perfis transversais. Os diferentes indicadores da posição da linha de costa foram testados e analisados em função da variabilidade encontrada. Assim, o comportamento morfodinâmico da praia com ênfase na linha de costa foi monitorado na escala de eventos.

A comparação entre os métodos DGPS e GPS-RTK indicou que em levantamentos da posição da linha de costa, o DGPS pode ser utilizado com sucesso, desde que sejam realizadas as correções das ambiguidades do sinal no pós-processamento dos dados. Destaca-se que os registros altimétricos com o DGPS não devem ser considerados, uma vez que a análise da comparação entre o DGPS e o GPS-RTK indicou restrições quanto o uso do DGPS em levantamentos altimétricos com o equipamento utilizado. Na comparação entre os métodos GPS-RTK e nivelamento geométrico no levantamento de perfis transversais foi verificado que os resultados do GPS-RTK foram satisfatórios na representação dos perfis. Destaca-se a precisão altimétrica verificada na comparação com o nivelamento geométrico. Assim, foi confirmado que as cotas altimétricas aquisitadas por GPS podem ser consideradas, quando rastreadas com GPS-RTK próximos ao nível do mar. A comparação entre o GPS-RTK e o nivelamento geométrico apresentaram variações volumétricas (m^3/m) que ficaram entre 0,1% e 6,4% . Entretanto, é importante destacar que para realizar trabalhos envolvendo o GPS deve ser realizada uma revisão bibliográfica consistente, pois a simplicidade de operação dos equipamentos exige conhecimentos dos parâmetros inseridos por conta das particularidades metodológicas envolvidas em posicionamentos que utilizam o GPS.

O registro da linha de costa requer a escolha de um indicador que represente a posição dessa interface dinâmica. A linha de costa sobre determinado indicador pode cruzar, sobrepor ou coincidir com a delimitação de outro. Estudos da posição da linha de costa que utilizem indicadores como o espraiamento ou a linha seca-molhada, devem

corrigir ou considerar as variações impostas ao indicador por conta da dinâmica do nível d'água na costa, uma vez que estes indicadores respondem instantaneamente ao nível do mar junto à praia, que é influenciado pela da ação de ondas, das marés e demais efeitos meteorológicos, que impõe variações na escala de horas. A linha seca-molhada e a linha do espriamento são indicadores sujeitos as condições climáticas e hidrodinâmicas, o que insere consideráveis erros quando empregados na interpretação de imagens aéreas e na predição de linhas de costa futuras. A linha seca-molhada apresentou variações entre 1,7m e 17,8m na praia reflectiva e entre 12m e 28,4m na praia intermediária. Foi verificado que a praia pode apresentar mais de uma linha seca-molhada por conta de diferentes saturações de umidade no sedimento. Na linha do espriamento as variações ficaram entre 5,9m e 22,3m na praia reflectiva e entre 16,6m e 30,1m na praia intermediária. A linha do espriamento mesmo com variabilidade maior que os demais indicadores testados, apresenta-se como uma feição bastante discernível visualmente, o que justifica sua utilização em interpretações de imagens aéreas. Todavia as variações verificadas podem inserir consideráveis erros nestes estudos, assim como quando empregado em monitoramentos de campo. Em ambos os casos, a consideração da variabilidade e a correção do nível da maré irá diminuir as estimativas e erros destes indicadores que se relacionam instantaneamente com o nível do mar. A base da escarpa se mostrou um indicador conservador, onde foram registradas pequenas variações. Em alguns pontos a variação foi nula em outros a variação máxima foi de 3,8m na praia reflectiva. Enquanto na praia intermediária a variação da base da escarpa ficou entre 0,9m e 8,0m. Isso confirma a base da escarpa como um indicador que só responde à incidência das ondas de tempestade. Pois só podem atingir a base da escarpa as ondas que possuam energia maior do que a capacidade de dissipação/reflecção da praia. Trata-se, portanto, de um indicador da posição da linha de costa fiel para monitoramentos de campo, em especial aos que foquem processos erosivos. Apesar de ser bastante limitado para indicar acresção, fica a base da escarpa reconhecido como um excelente indicador da posição da linha de costa, que pode ser utilizado em monitoramentos costeiros em áreas com características erosivas.

Ao verificar a eficácia do GPS-RTK, aliando as constatações sobre a base da escarpa, o comportamento morfodinâmico foi monitorado na escala de eventos. Dessa maneira foi verificado que os processos erosivos no Camping da Barra ficaram evidentes. Foi verificada a evolução costeira na escala de eventos do pós-praia, onde se

registrou o volume de sedimento, que diminui quando incidem ondas com alta energia. Contudo, o monitoramento da posição da linha de costa no Camping da Barra verificou o aumento nos volumes dos perfis transversais entre oito e dezessete por cento, ao mesmo tempo em que a linha de costa teve recuo médio de -0,3m. Porém, na praia de Taquarinhas, no evento que foi analisado a variação da linha de costa teve avanço médio de 0,1m, com ganho de volume na média dos perfis, onde foi verificada a diminuição do volume em um extremo da praia e aumento no outro, o que remete à evidências que o processo de rotação praial verificado por Klein, Benedet Filho e Schumacher (2002) segue atuando e mantendo o equilíbrio da praia de Taquarinhas. Todavia, a verificação das respostas morfodinâmicas em razão de diferentes padrões de ondas não foi conclusivo. O tempo decorrido entre os registros se demonstrou longo demais. Fica indicado que monitoramentos na escala de eventos devem considerar a realização de levantamentos diários, uma vez que o intervalo de dias adotado não permitiu conclusões consistentes para análises na escala de eventos. A realização de monitoramentos em função da incidência de ondas deve contar com uma equipe em sobreaviso. A disponibilidade de uso dos equipamentos empregados é um fator logístico importante. Uma vez que estabelecer o cronograma das atividades de campo quando se espera por tempestades e ressacas é uma atividade quase inviável.

Assim, o trabalho verificou que o GPS-RTK possui precisão suficiente para obter dados de perfis transversais à praia, incluindo dados altimétricos. A análise do indicador da posição da linha de costa considerou que a linha seca-molhada comumente utilizada em interpretações de imagens aéreas, apesar da facilidade do discernimento visual, é a que apresenta as maiores variações na posição, exigindo que se considere sua variabilidade nas interpretações. A base da escarpa foi considerada um bom indicador para levantamentos de campo, apesar de não indicar com clareza efeitos deposicionais. O comportamento da posição da linha de costa em escala de eventos deve ser analisado de forma intensa com obtenção diária dos dados morfológicos. Ainda deve ser destacado que a utilização dos dados de ondas em águas profundas foi assumido. Todavia fica ainda indicado que a existência de dados das ondas em águas rasas e próximas a costa podem agregar informações bastante relevantes em estudos futuros.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Procedimento. Rio de Janeiro, 1994. 35 p.
- ALBUQUERQUE, P.C.G.. Desastres naturais e geotecnologias: GPS. **Caderno didático - INPE**, Santa Maria, n.3, 2008.
- ARAUJO, R. S. ; SILVA, G. V. ; FREITAS, D. ; KLEIN, A. H. F.. Georreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação da linha de costa. In: Alcántara-Carrio, J.; Correa, I.D.; Isla, F.; Alvarado, M.; Klein, A.H.F. ; Cabrera, J.A., y Barlow, R.. (Org.). **Metodologías en teledetección aplicada a la prevención de amenazas naturales en el litoral**. Madrid: Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencias y Tecnología para el Desarrollo. 2009. p. 123-138.
- ARAUJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO FILHO, E. ; PIMENTA, F. Wave regime characteristics of southern Brazilian coast. In: International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, 6., 2003, Sri Lanka. **Anais**. Colombo: COPEDEC, 2003.p.15-15.
- BAPTISTA, P.; BASTOS, L.; BERNARDES,C.; CUNHA, T., DIAS,J.. Monitoring sandy shore morphologies by DGPS: A practical tool to generate digital elevation models.**Journal of coastal research**, Florida, v. 6, n. 24, p. 1516-1528, 2008.
- BAPTISTA, P.; CUNHA, T.; BERNARDES, C.; GAMA, C.; FERREIRA, Ó.; DIAS, A.. A precise and efficient methodology to analyse the shoreline displacement rate, **Journal of coastal research**, Florida, v.2, n. 27, p. 223-232. 2011.
- BENEDET, L. **Morfodinâmica de Praias de Enseada**:Um estudo do comportamento dos processos de rotação praial. 2000. 119 f. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2000.

- BIRD, E.. **Coastal geomorphology: An Introduction**. 2 ed. England: Wiley, 2008. 383p.
- BIRKMEIER, W.A..**Fast, accurate two-person beach surveys**. Vicksburg, Mississippi: U.S. Army Corps of Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center, p.22, 1981.
- BORGES, A.C.. **Exercícios de topografia**. 3.ed., São Paulo: Edgard Blucher. 1975.
- BORGES, A. C.. **Topografia aplicada à engenharia civil**. São Paulo: Edgar Blucher, v.1, 1977, 187p.
- BOAK, E.H.; TURNER, I.L..Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of coastal research**, v.21, n.4, p.688 – 703, 2005.
- BRASIL. **Decreto n. 5.334**, de 6 janeiro de 2005. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5334.htm> acessado em 30/08/2013.
- CALLIARI, L.J.; KLEIN, A.H.F.Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **PESQUISAS**. Porto Alegre, v. 20, n. 1, p.48-56, 1993.
- CAMPOS, R.M.; CAMARGO, R.; HARARI, J.. Caracterização de eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as reanálises do modelo do NCEP no sudoeste do Atlântico Sul. **Revista brasileira de meteorologia**, v.25, n.2, p.175-184, jun. 2010.
- CARDOSO, C.S.. **A influência dos ciclones extratropicais nas mesorregiões serrana e do leste catarinense**. Florianópolis, SC, 2011. 139p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2011.
- CARTER, R.W.G. Coastal environments: Introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. London: Academic Press, 1988. 617p.

- CARUSO JR.,F. **Mapa geológico da ilha de Santa Catarina**. Notas Técnicas nº06. 1993.
- CARUSO JR., F.; FRASSON, H.M.S.. Ecosistema praia da Barra/Lagoa da Conceição (Ilha de Santa Catarina) e os riscos ambientais em função de empreendimentos turísticos. In: Simpósio brasileiro sobre praias arenosas: morfodinâmica, ecologia, usos, riscos e gestão, **Anais...** Itajaí: UNIVALI, 2000. p. 410-412.
- CARUSO JR., F.; KREBS, A.J.; WILDNER,W.; ARAUJO, S. A.; DIEHL, F. L.; FRASSON, H.; CARMO, V.B.. Mapa geológico da folha Camboriú, escala 1:50.000. In: Simpósio brasileiro sobre praias arenosas: morfodinâmica, ecologia, usos, riscos e gestão, **Anais...** Itajaí: UNIVALI, 2000
- CARVALHO, J.L.B.; KLEIN, A.H.F.; SCHETTINI, C.A.F.; JABOR, P.M.. Marés meteorológicas em Santa Catarina: Inluência do vento na determinação de parametros para obras costeiras. **Proceedings do III simpósio sobre Oceanografia**, São Paulo: USP. 1996. p. 380.
- COOPER, J.A.G., Microtidal coasts. In: SCHWARTZ, M.L.. **Encyclopedia of Coastal Science**. Dordrecht: Springer, 2005.p. 638-638.
- COWELL, P.J. ; THOM, B.G. Morphodynamics of coastal evolution. In: CARTER, R.W.G. ; WOODROFFE, C.D.(eds). **Coastal Evolution late quaternary shoreline morphodynamics**, Cambridge, 1994. p.33-86.
- CRUZ, O.. A ilha de Santa Catarina e o continente próximo; um estudo de geomorfologia costeira. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 1998. 276p.
- DIAS, J. M. A.. Apresentação e Objectivos In: GCI. **Glossário das zonas costeiras**. Gestão Costeira Integrada/Journal of integrated coastal zone management, 2013, Disponível em <<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/objectivos.html#>>. Acesso em 11/07/2013.

- EMERY, K.O., **A simple method of measuring beach profiles.** *Limnology and oceanography*, n.6, p.90-93, 1961.
- ESPARTEL, L.. **Curso de Topografia**, Porto Alegre, Ed. Globo. 655p. 1973.
- ESTEVES, L.S.. **Variabilidade espaço-temporal dos deslocamentos da linha de costa no Rio Grande do Sul.** 2004. 139f. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2004.
- FRANCO, D. ; MELO FILHO, E.. Relevância dos maré secundários na caracterização do regime de ondas ao largo da Ilha de Santa Catarina, SC. **III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica**, FURG, Rio Grande, RS. 2008. Disponível em < <http://www.semengo.furg.br/2008/38.pdf> >, acesso em 12 de março de 2012.
- FREITAS, M.P.; MENEZES, J.T.; LANGUI, M.P.; VINTÉM, G.; KLEIN, A.H.F., DIEHL, F.L..Análise morfológica de ambientes costeiros com sistema de posicionamento global (DGPS) (não geodésico). In: IX Congresso da associação brasileira de estudos do quaternário, Recife. **Livro de resumos**. 2003. p. 242-242.
- GRÉ, J.C.R..**Aspectos sedimentares da plataforma continental de Santa Catarina – Brasil.** Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Geociências) Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 91f. 1983.
- HARLEY, D.H.; TURNER, I.L.; SHORT, A.D.; ROSHANKA RANASINGHE. Assessment and integration of conventional, RTK-GPS and image-derived beach survey methods for daily to decadal coast monitoring. **Coastal Engineering**, v.58, p.194-205, 2011.
- HERRMANN, M. L. P. **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina.** Florianópolis: IOESC. p. 117-120. 2006.

- HESP, P. A.. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**, New Zealand, v.48, p. 245-268, jan. 2002.
- HESP, P. A.; GIANNINI, P.C.F.; MARTINHO, T.; SILVA, G.M.; ASP NETO, N.E..The holocene barrier systems of the Santa Catarina coast, southern Brazil. In: DILLENBURG, S. R.; HESP, P. A..**Geology and geomorphology of holocene coastal barriers of Brazil**. Berlin: Springer, 2009. p.93-129.
- HOEFEL, F. G. Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica. Itajaí: UNIVALI. 1998. 92 p.
- HOEKE,R.K.; ZARILLO, G.A.; SYNDER, M. A. GIS based tool for extracting shoreline positions from aerial imagery (BEACHTOOLS). **Coastal Engineering Technical Note**, Washington: US Army Corps of Engineers, n. 4, p.12, 2001.
- HORN, D. Hydrology of the coastal zone. In: SCHWARTZ, M.L..**Encyclopedia of Coastal Science**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 535-541.
- HORN FILHO, N.O.. Granulometria das praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, SC. **Gravel**, n. 04. Porto Alegre, ISSN 1678-5975, 2006.
- HORN FILHO, N.O.; LEAL, P.C.; OLIVEIRA, J.S. de. **Atlas fisiográfico e sedimentológico das praias arenosas da Ilha de Santa Catarina-SC, Brasil**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e ciências Humanas, Departamento de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geografia, 2009, 142p.
- IBGE. **Perguntas Frequentes**, Site do IBGE, 2012, < <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#15> > acesso 15 de março de 2012.
- KING, C.A.M.. **Beaches and coasts**, London: Edward Arnold Publishers ltd, 1972. 570p.

- KLEIN, A.H.F., **Morphodynamics of headland-bay beaches: Examples from the of Santa Catarina State, Brazil**. 2004, 218 f. Tese (Doutorado em Ciências do Mar – Geologia Marinha) – Faculdade de Ciências do Mar e do ambiente, Universidade do Algarve, Algarve, 2004.
- KLEIN, A.H.F.; MENEZES, J.T., 2001. Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. **Journal of Coastal Research**. Florida, v. 17, n. 4, p.812-835, 2001.
- KLEIN, A.H.F.; BENEDET FILHO, L.; SCHUMACHER, D.H.. Short-term beach rotation processes in distinct headland bay beach systems. **Journal of Coastal Research**, Florida, v.3, n.18, p. 442-458. 2002.
- KOMAR, P.D.. **Beach processes and sedimentation**. 2.ed. New Jersey: Prentice Hall,. 1998. 544 p.
- KRUEGUER, J.. Análise dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos dos eventos de ressaca, ocorridos entre janeiro de 2001 à dezembro de 2010, no estado de Santa Catarina, 2011. 77 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelato em Oceanografia) – Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2011.
- LARSON, M.. Bmap – Beach morphology analysis package. In: **CEDAS**. 1999. Disponível em <<http://www.veritechinc.com/products/cedas/CEDASmanuals.php>> acessado em 30/08/2013.
- LEAL, P.C.. Sistema praias Moçambique – Barra da Lagoa, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil: aspectos morfológicos, morfodinâmicos, sedimentológicos e ambientais. 1999. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós graduação em Geografia. Florianópolis, 1999.
- MARONE, E. ; CAMARGO, R.. Marés meteorológicas no litoral do estado do Paraná: O evento de 18 de agosto de 1993. **Revista Nerítica**, v. 1, n.8, p. 73-85. 1994.

- MENEGUCCI, J. J.. Metodologia para correção da maré em levantamentos de linha de costa com DGPS-RTK: Estudo de caso na enseada do Itapocoroí, Santa Catarina, Brasil. Trabalho de conclusão de Curso (Oceanografia). Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí, 89f. 2011.
- MENEZES, J.T.. **Aspectos morfodinâmicos das praias do litoral centro-norte catarinense**. 193f. 1999. Trabalho de conclusão do curso (Bacharelato em Oceanografia). Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí,. 1999.
- MENEZES, J.T.; KLEIN, A.H.F. Variações morfológicas das praias do litoral centro-norte do Estado de Santa Catarina: Resultados preliminares. In: SNO e EBO - Semana Nacional de Oceanografia, X e Encontro Brasileiro de Oceanógrafos. VII,**Anais**. Itajaí: Faculdade de Ciências do Mar da Universidade do Vale do Itajaí. 1997.58-60p.
- MILLER, M.L.; HADLEY, N.P.. Tourism and coastal development. In: SCHWARTZ, M.L.. **Encyclopedia of Coastal Science**. Dordrecht: Springer, 2005. P. 1002-1009.
- MIOT DA SILVA, G.. **Orientação da linha de costa e dinâmica dos sistemas praia e duna: praia do Moçambique, Florianópolis, SC**. 2006. 290 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Geociências, Porto Alegre, 2006.
- MIOT DA SILVA, G.; KLEIN, A.H.F.; ALMEIDA L.E.S.B..Effect of planform equilibrium state in the sedimentology of headland bay beaches. **Journal of Coastal Research**, Florida, especial issue 39, p. 692-696, 2004.
- MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS – Descrição, Fundamentos e Aplicações. 2ed. São Paulo: UNESP, 2008. 476 p.
- MOORE, L.J.. Shoreline mapping techniques. **Journal of coastal research**, Florida, v.16, n.1, p.111-124. 2000.

- MOORE, L.J.; RUGGIERO, P.; LIST, J.H.. Comparing mean high water and high water line shoreline: Should proxy-datum offsets be incorporated into shoreline change analysis? **Journal of coastal research**, Florida, v.22, n.4, p. 894-905. jul. 2006.
- MORANG, A.; GORMAN, L.T.. Monitoring Coastal Geomorphology. In: SCHWARTZ, M.L.. **Encyclopedia of Coastal Science**. Dordrecht: Springer, 2005.p. 663-674.
- MUEHE, D.. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. **Revista brasileira de geomorfologia**. v.2, n.1, p. 35-44. 2001.
- MUEHE, D.. Método de levantamento topo-batimétrico do perfil do sistema praia-antepraia. **Revista brasileira de geomorfologia**. v.5, n.1, p. 95-100. 2004.
- NIMER, E.. **Climatologia do Brasil**, Rio de Janeiro:IBGE/DERNA. 1989.
- OERTEL, G.F. Coasts, coastlines, shores, and shorelines. In: SCHWARTZ, M.L. **Encyclopedia of Coastal Science**. Dordrecht: Springer, 2005.p. 323-327.
- OLIVEIRA, U.R.. **Comportamento morfodinâmico e granulométrico do arco praial Pântano do Sul – Açores, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. 2004.102 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.
- PRADO, A.; KRUEGUER, C.P.. Análise da acurácia nos posicionamentos diferenciais aplicando as técnicas DGPS e RTK. **Revista brasileira de cartografia**, n. 55, v. 1, julho 2003.
- PRANZINI, E., ROSSI, L.. The role of coastal evolution monitoring, In: CIPRIANI, L.,E.(ed.). **Coastal erosion monitoring A network of regional observatories Results from ResMar Project**. Florence: Nuova Grafica Fiorentina, 2013, p. 11 – 55.

- PAJAK, M. J.; LEATHERMAN, S.. The high water line as shoreline indicator. **Journal of coastal research**, Florida, v. 18, n. 2, p. 329-337. 2002.
- PEIXOTO, J., R., V., Análise morfossedimentar da praia do santinho e sua relação com a estrutura e dinâmica da vegetação “pioneira” da duna frontal, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. 2005. 93f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2005.
- PETERMANN, R.M.. Zoneamento ambiental do município de Balneário Camboriú (SC) Utilizando produtos de sensoriamento remoto e dados cartográficos integrados no sistema de informações geográficas SPRING. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí – Itajaí, 2005.
- PILKEY, O.H.; DIXON, K.L. **The corps and the shore**. Washington: Island Press, p. 272, 1996.
- REGUERO, B.G., MENÉNDEZ, M., MÉNDEZ, F.J., MÍNGUEZ, R., LOSADA, I.J.. A global ocean waves (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. **Coastal engineering**, v. 65, p. 38-55, 2012.
- ROCHA, C.P., ARAÚJO, T.C., MENDONÇA, F.J.B.. Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo de caso na praia de Boa Viagem, Recife/PE, Brasil. **Revista da gestão costeira integrada**, v. 8, n. 2, p. 127-137, 2008.
- ROCHA, C.P., ARAÚJO, T.C., MENDONÇA, F.J.B.. Aplicação de metodologia para localizar e monitorar linhas de costa usando técnicas de posicionamento pelo GNSS: Um estudo de caso na praia de Sauaçu, Nordeste do Brasil. **Revista da gestão costeira integrada**, v. 9, n. 1, p. 93-108. 2009.
- ROCHA, C.P., ARAÚJO, T.C., MENDONÇA, F.J.B.. Monitoramento de linha de costa usando posicionamento 3D-GPS, **III Simpósio brasileiro de ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação**, Recife-PE. 2010.

- RUDORFF, F.M.; BONETTI, J.. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina. **Brasilian journal of aquatic science and technology**. v. 14, n. 2, p. 9-20. 2010.
- RUDORFF, F. M.; BONETTI, J.; MORENO, D.. Marés de Tempestade. In: HERRMANN, M. L. P. **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: IOESC. p. 117-120. 2006.
- SEEBER, G. Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications. 2ed. New York: De Gruyter. 2003. p.589.
- SCHEIBE, L. F. A.. A Geologia de Santa Catarina: Sinópsse Provisória. **Geosul**, Florianópolis, n.1, 1986.
- SCHWEITZER, A.. **Comportamento Morfossedimentar do arco praial e uso de solo na praia Brava, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**.. 2007. 68p. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelato em Geografia), Departamento de Geociências, Centro de Filosofia e Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.
- SCHWEITZER, A.; KLEIN, A.H.F.. Avaliação de indicadores da posição da linha de costa para monitoramento da evolução costeira. In: Workshop Antropicosta Iberoamerica, 2., 2012, Montevideo. **Livro de resumos...** Montevideo: Universidad de la Republica Uruguay, 2012. p.50.
- SHORT, A. D..Handbook of beach and shoreface morphodynamics, England, Wiley, 1999. 379p.
- SHORT, A. D.; WRIGTH, L.D.. Physical variability of sandy beaches. In: McLACHLAN, A. and ERASMUS, T. (eds.), **Sandy beaches as ecosystems**. Junk, The Hague, 1983. p.133-143.
- SILVEIRA, L.F..Análise da morfodinâmica e da estabilidade da forma em planta das praias de enseada do Estado de Santa Catarina e do litoral norte de São Paulo utilizando imagens aéreas. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelato em Oceanografia), Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, p.114. 2008.

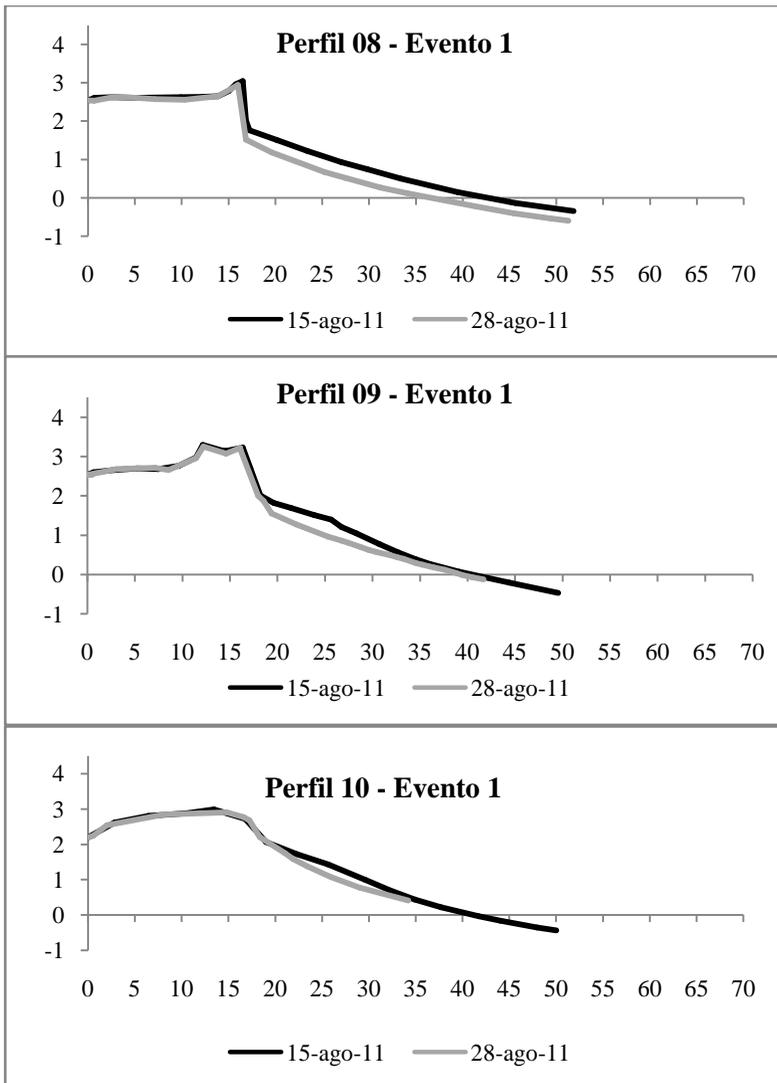
- SILVEIRA, L.F.; KLEIN, A.H.F.; TESSLER, M.G.. Classificação morfodinâmica das praias do Estado de Santa Catarina e do litoral norte do Estado de São Paulo utilizando sensoriamento remoto. **Braz.J.Aquat.SCI.Technol.**, v. 15, n. 2, p. 13-28. 2011.
- SILVESTER, R.; HSU, J.R.C. **Coastal stabilization**. Australia: Word Scientific, 578p. 1997.
- STEWART, M.P.; Geodesy. In: SCHWARTZ, M.L.. **Encyclopedia of Coastal Science**. Dordrecht: Springer, 2005.p.472.
- STOCKDON, H.F.; SALLENGER, A.H.; LIST, J.H.; HOLMAN, R.A.. Estimation of Shoreline Position and Change Using Airborne Topographic Lidar Data. **Journal of Coastal Research**, Florida, v. 18, n. 3, p. 502-513, 2002.
- SUGUIO, K. Dicionário de geologia marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol. São Paulo: Biblioteca de Ciências Naturais/USP, V.E., 1992. p.171.
- TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**. n. 17, p. 11-23. 2005.
- THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0- An ArcGIS extension for calculating shoreline change**: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. 2009.
- TOLDO JR., E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B.. A linha d'água como indicadora da posição da linha de praia. In: **IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos Quaternários**, II Congresso do Quaternário de Países de Língua Ibérica e II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa.2003, Recife: ABEQUA, 2003.
- WHITE, S., Utilization of LIDAR and NOAA's Vertical Datum Transformation Tool for Shoreline Delineation. In: **OCEANS**, 2007, Vancouver. 2007, p.1-6.

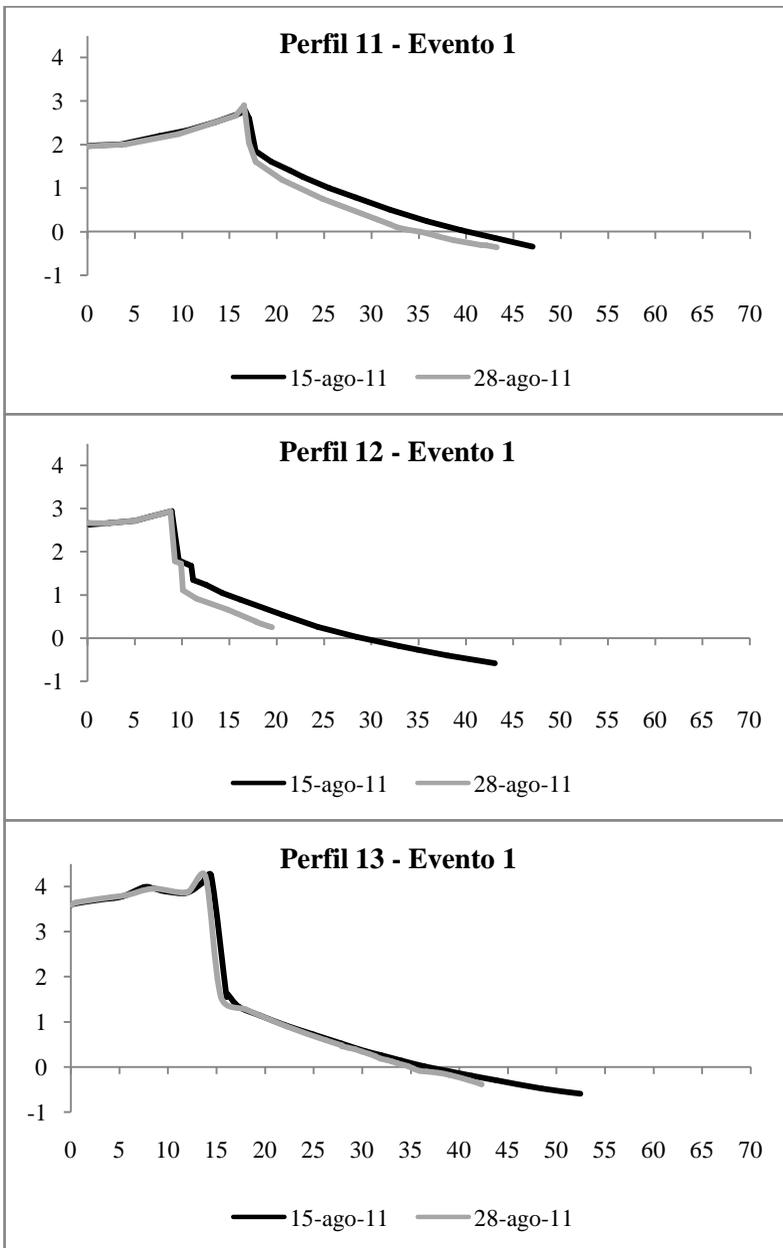
WRIGHT, L.D.;SHORT, A. D.. Morphodynamic variability of beaches and surf zones, a synthesis. **Marine Geology**, 56. 1984. 92-118p.

VILLWOCK, J.A.; LESSA, G.C.; SUGUIO, K.; ANGULO, R.J.; DILLENBURG, S.R., Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. 2005. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, P.E. (eds.). **Quaternário do Brasil**. Ed. Holos, Ribeirão Preto, 94-113. 2005.

7. APENDICE A – PERFIS TRANSVERSAIS - EVENTO 1

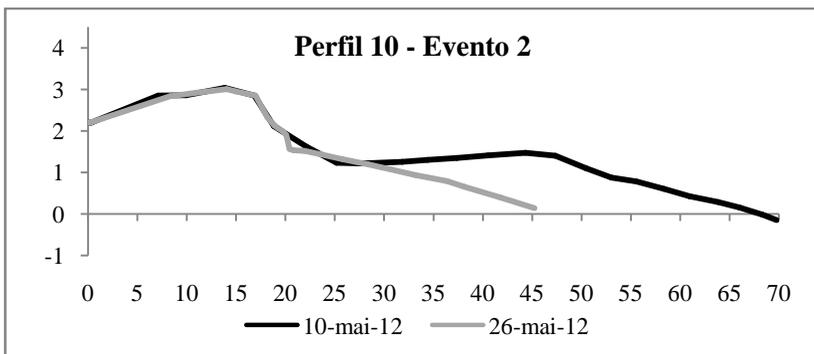
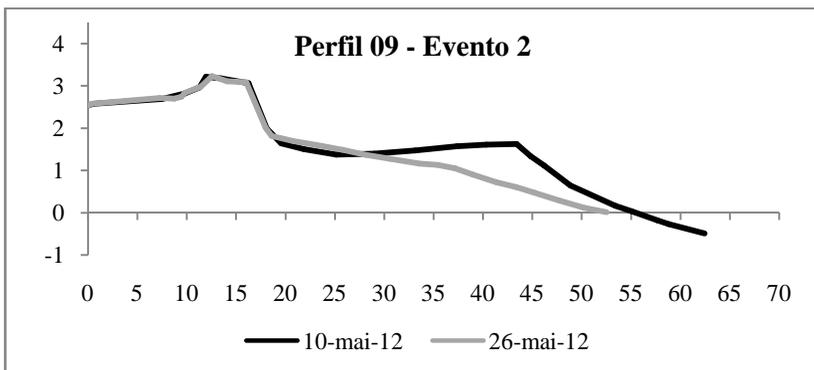
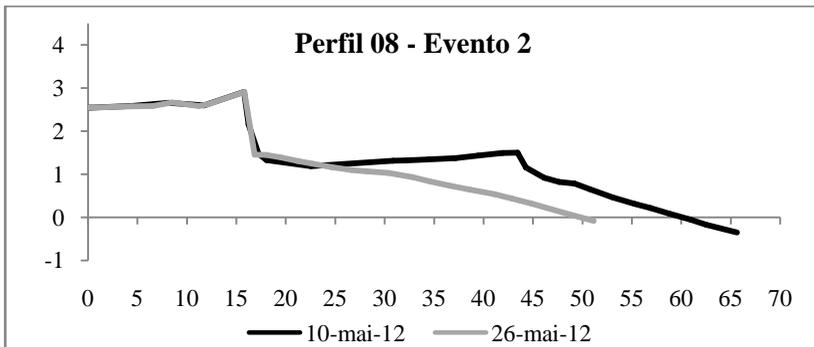
Perfis transversais identificados pelo evento e número do perfil no Camping da Barra.

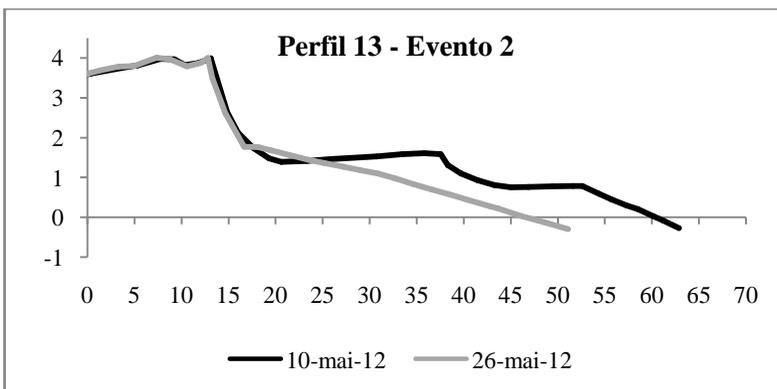
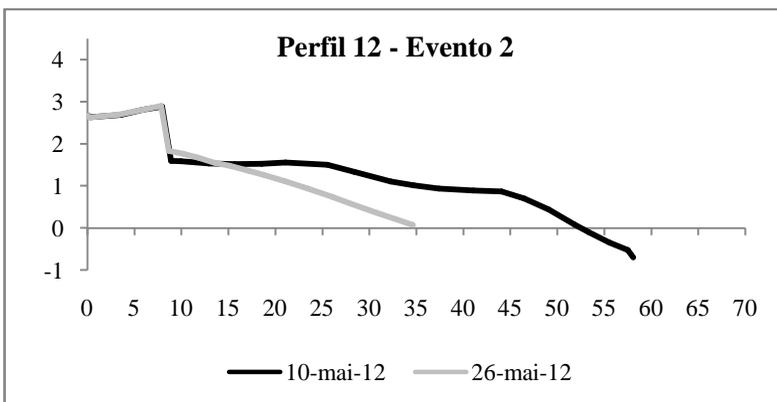
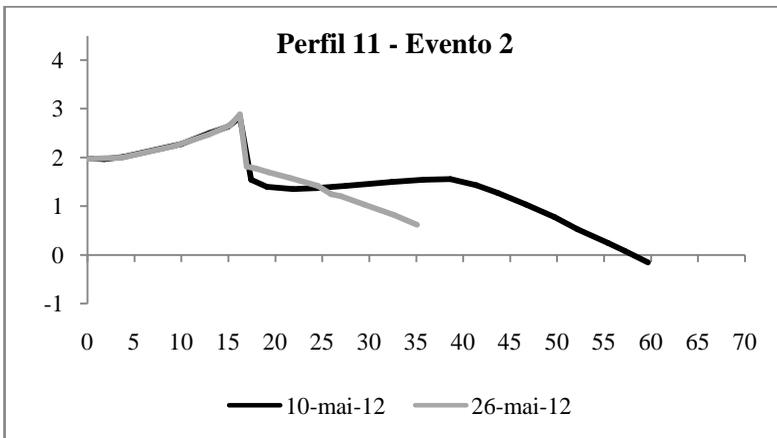


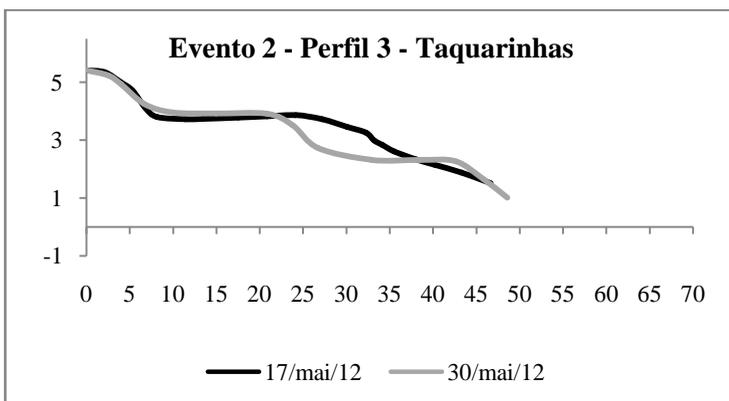
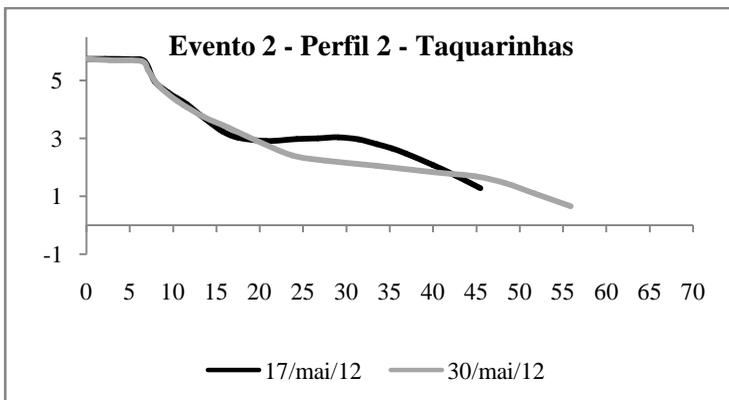
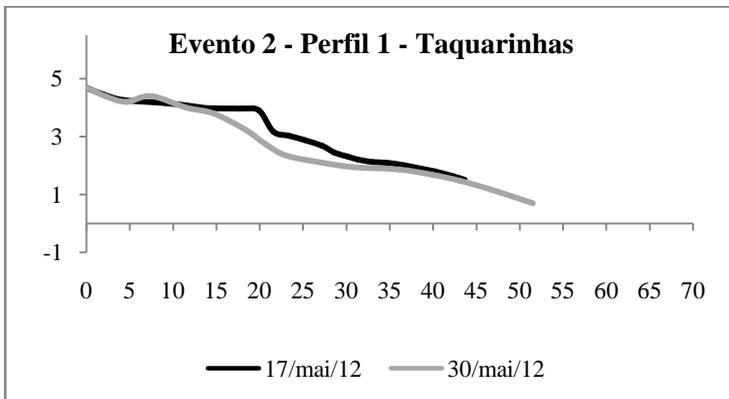


8. APENDICE B – PERFIS TRANSVERSAIS - EVENTO 2

Perfis transversais identificados pelo evento e número do perfil no Camping da Barra. Exceto quando no título do gráfico constar referência à praia de Taquarinhas.

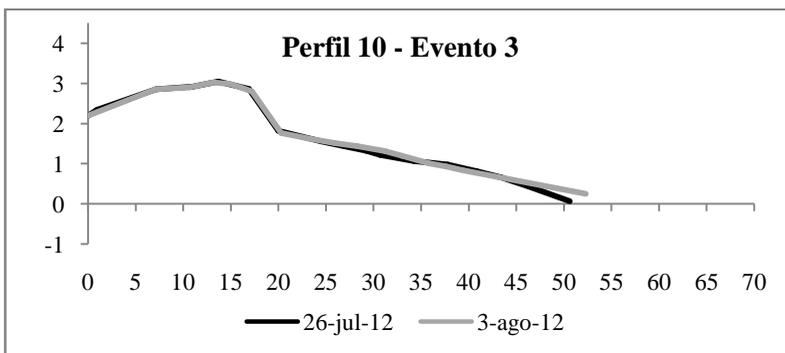
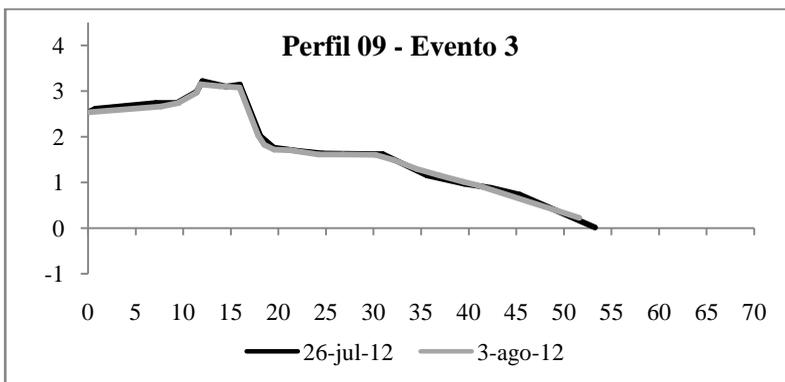
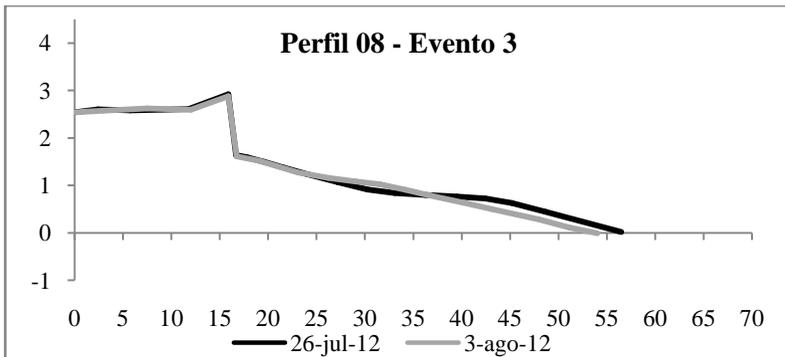


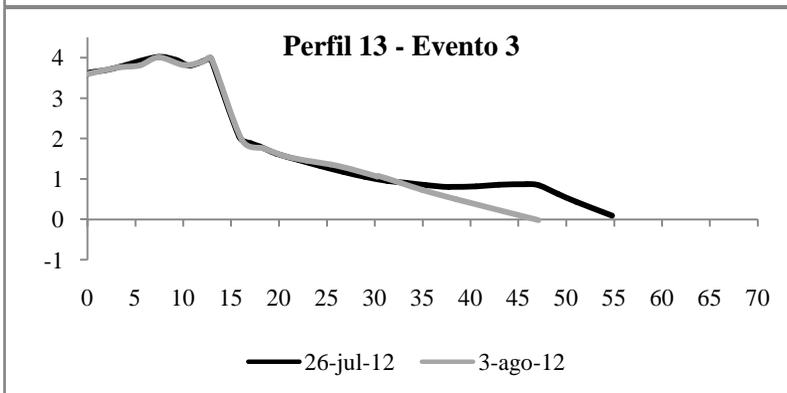
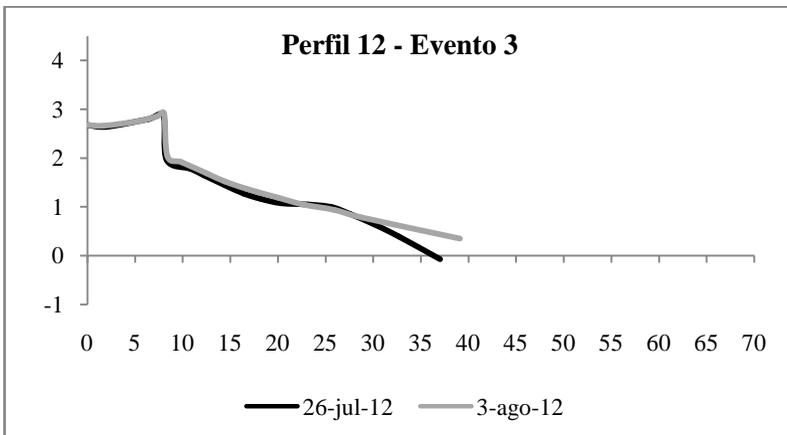
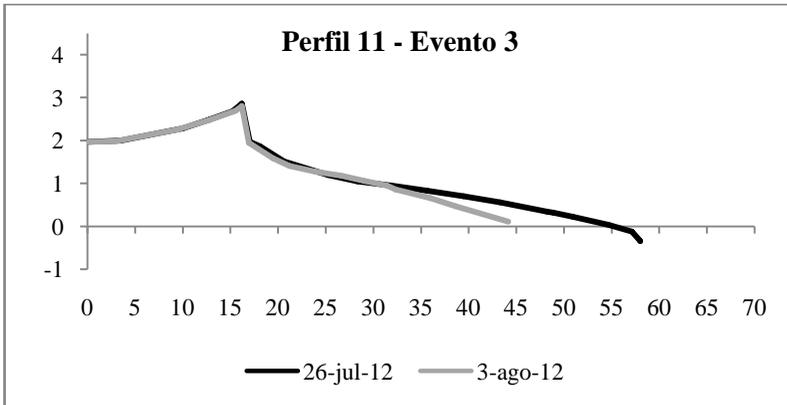




9. APENDICE C – PERFIS TRANSVERSAIS - EVENTO 3

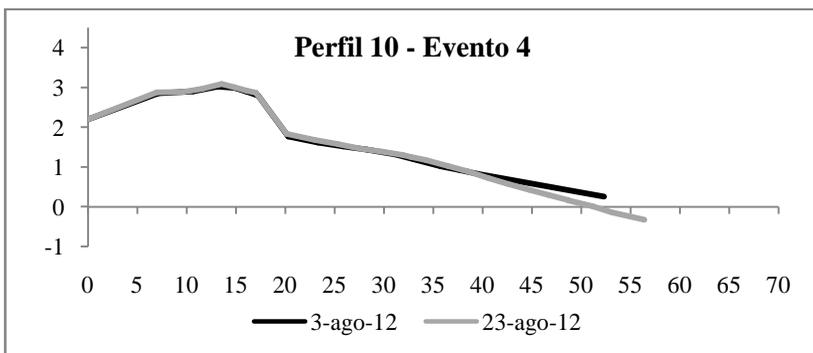
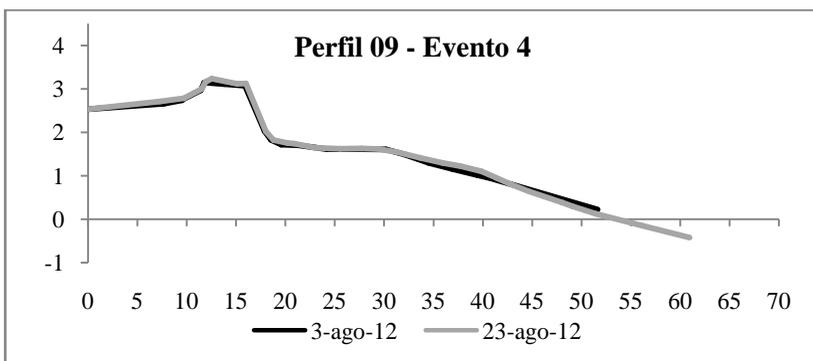
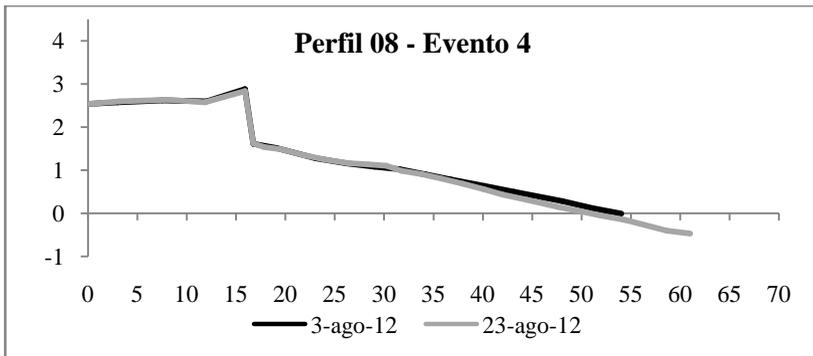
Perfis transversais identificados pelo evento e número do perfil no Camping da Barra.

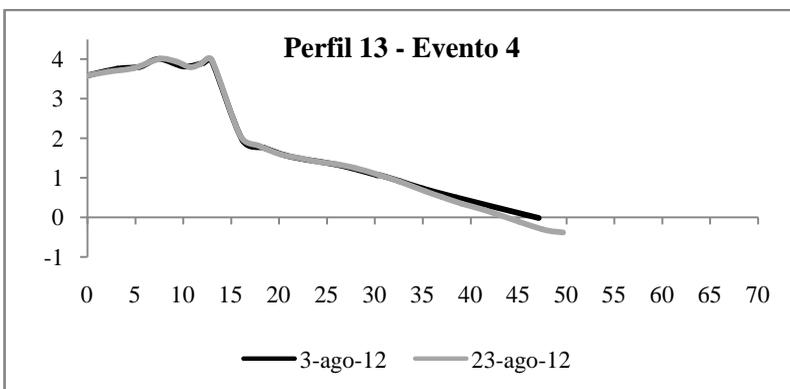
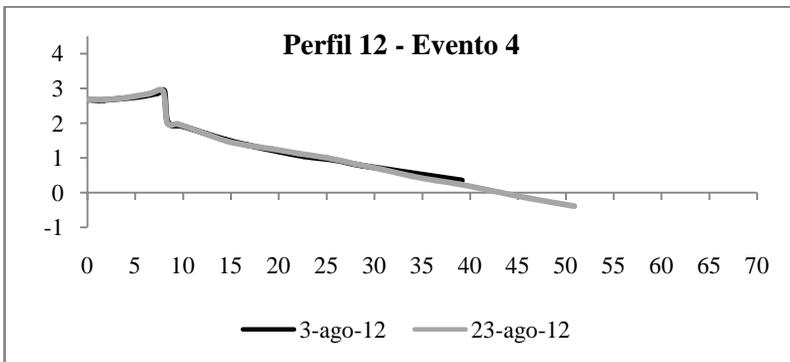
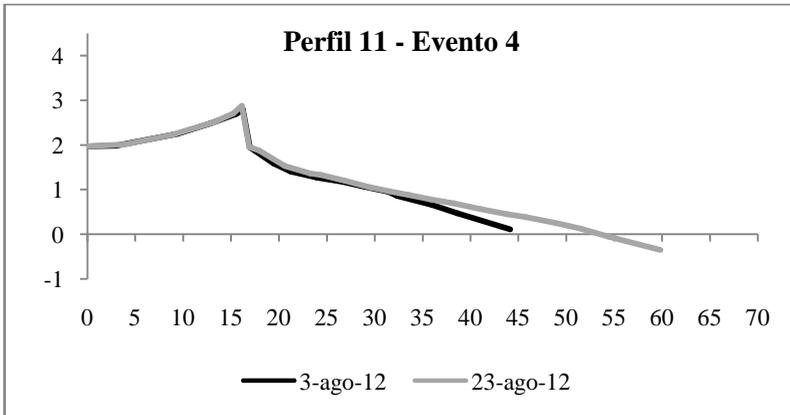




10. APENDICE D – PERFIS TRANSVERSAIS - EVENTO 4

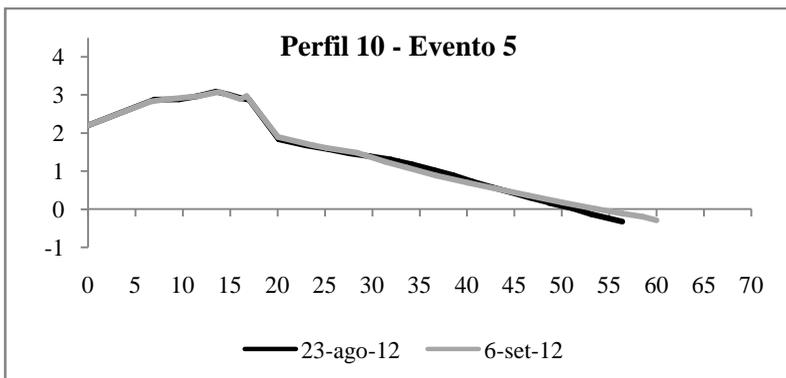
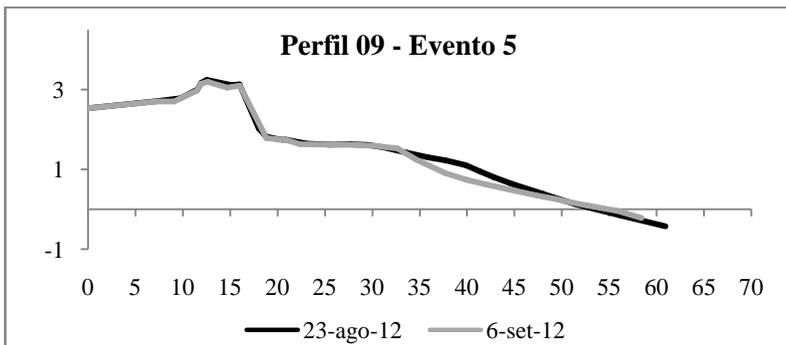
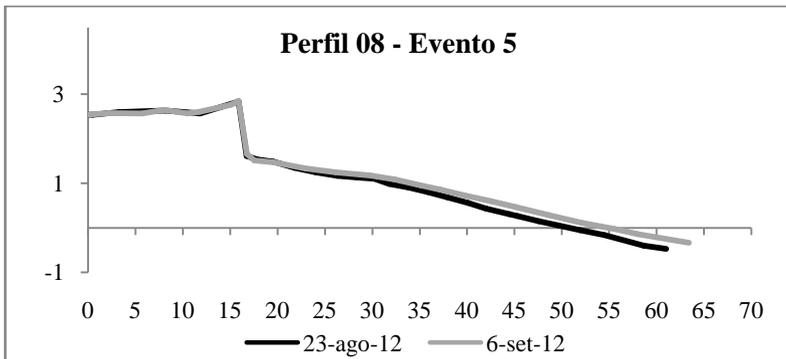
Perfis transversais identificados pelo evento e número do perfil no Camping da Barra.

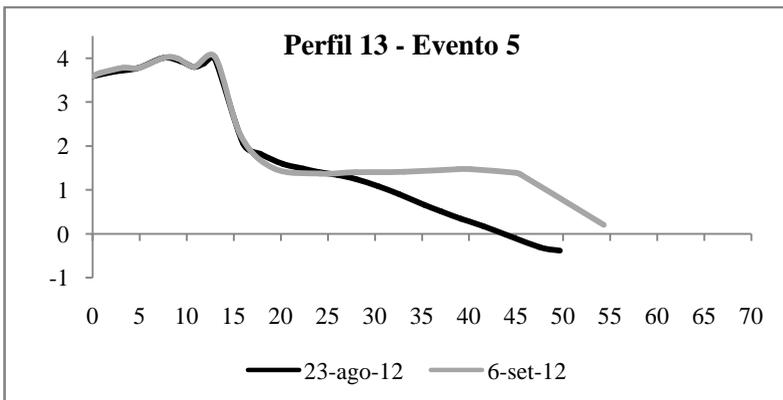
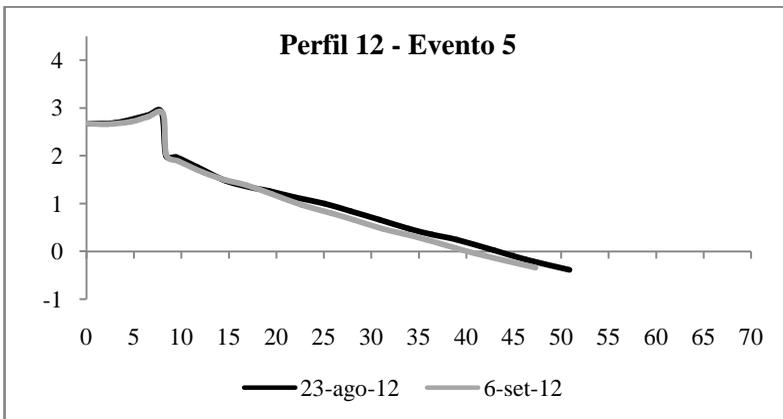
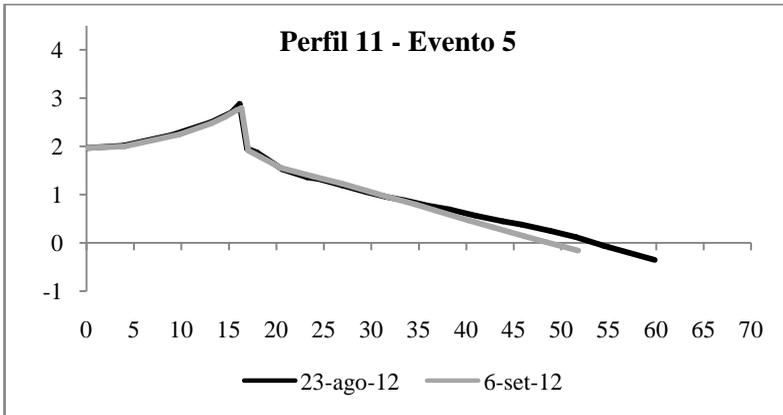


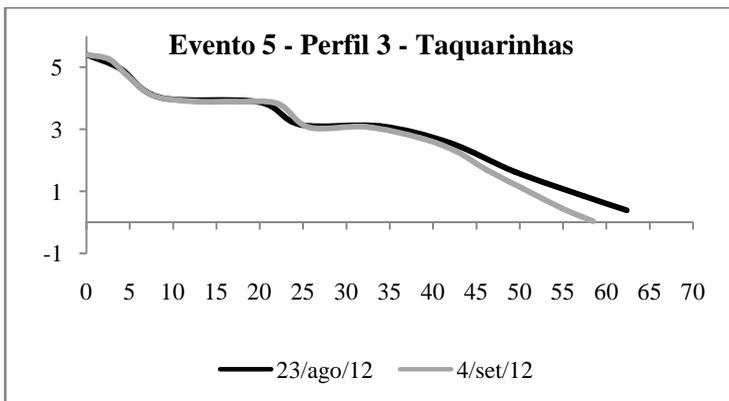
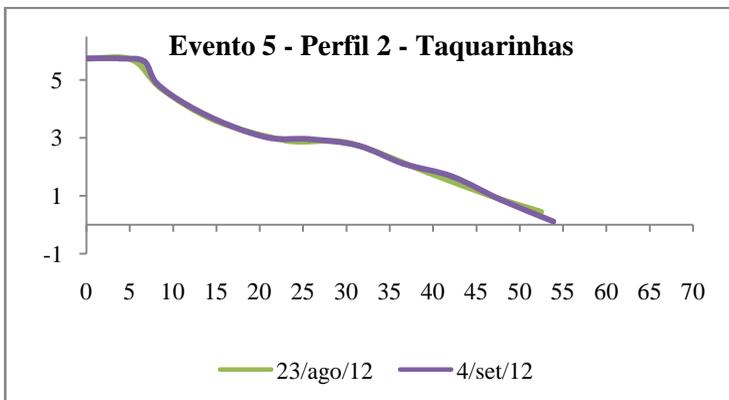
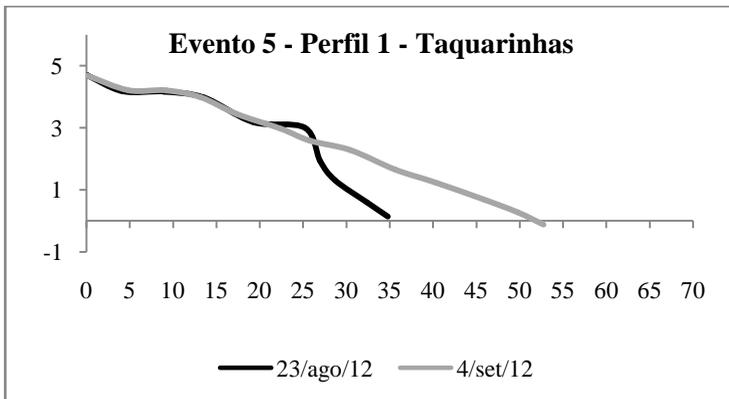


11. APENDICE E – PERFIS TRANSVERSAIS - EVENTO 5

Perfis transversais identificados pelo evento e número do perfil no Camping da Barra. Exceto quando no título do gráfico constar referência à praia de Taquarinhas.







12. APÊNDICE F – NSM CAMPING DA BARRA

Tabela com os resultados da análise do NSM no DSAS dos eventos no Camping da Barra

Perfis DSAS	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4	Evento 5	Varição total
1	-0.4	-0.7	-0.1	0.2	-0.1	-1.3
2	0.0	-0.2	0.1	0.2	0.0	-2.9
3	-0.5	-0.6	-0.1	0.2	-0.1	-1.4
4	-0.5	-0.6	-0.1	0.2	-0.1	-1.0
5	-0.7	-0.5	0.0	0.0	0.0	-0.9
6	-2.1	-0.6	-1.0	0.7	-0.1	-2.3
7	-0.6	-0.3	-0.1	-0.1	0.1	-0.2
8	0.0	-0.8	0.1	-0.4	0.2	-0.3
9	-0.1	-5.4	0.1	-0.1	0.1	-3.2
10	-1.4	-1.9	-0.7	0.3	1.7	2.0
11	1.4	-2.4	-3.6	-0.8	1.3	-3.2
12	-0.9	-3.2	0.1	-0.1	0.0	-1.5
13	-0.1	-3.4	-1.5	1.7	0.8	-1.0
14	0.0	-3.3	0.1	-0.2	0.2	-0.4
15	-1.3	-3.4	-0.2	0.0	0.5	-0.2
16	-0.2	-2.1	0.2	-0.2	0.7	0.5
17	-1.0	-0.9	0.1	0.1	0.1	-2.3
18	-1.2	-0.6	0.1	0.0	0.0	-2.8
19	-1.0	-0.9	-0.1	-0.1	0.1	-2.1
20	-0.7	-0.1	0.0	0.0	1.8	-0.3
21	-0.5	-0.6	0.2	0.0	0.0	-2.2
22	-0.3	-0.1	0.2	-0.2	0.0	-0.9
23	-0.6	0.1	-0.1	0.1	0.1	-1.0
24	-0.4	-0.4	0.1	-0.1	0.1	-2.8
25	-0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.0
26	-1.5	-0.4	0.0	0.0	0.1	-7.0
27	-1.9	0.2	0.1	0.0	-0.2	-5.7
28	-0.5	-0.7	0.1	-0.1	0.2	-3.6
29	-1.0	-0.1	0.1	-0.1	0.1	-1.5
30	-0.3	-1.1	1.3	-0.8	-0.3	-1.8
31	-1.3	-1.6	0.0	0.1	-0.1	-2.3
Média	-0.6	-1.2	-0.1	0.0	0.2	-1.9
d.p.	0.7	1.3	0.8	0.4	0.5	1.8

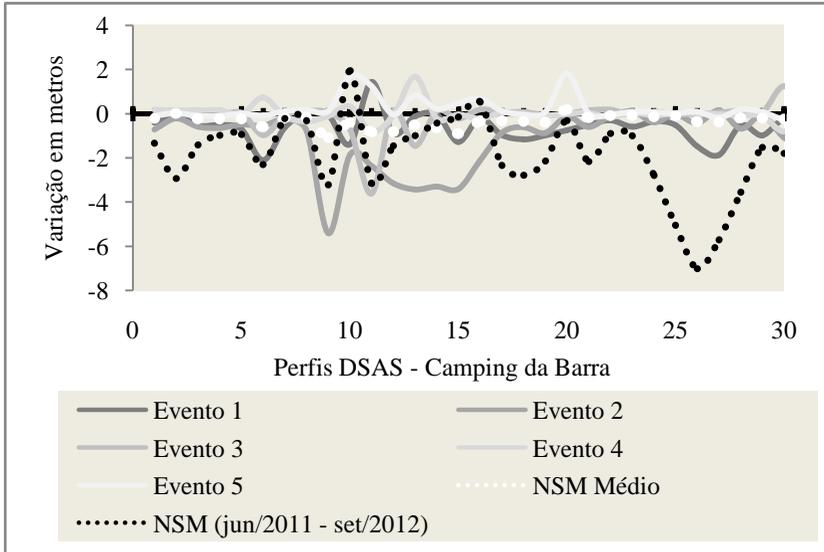
13. APÊNDICE G - NSM TAQUARINHAS

Tabela com os resultados da análise do NSM no DSAS do evento 5 em Taquarinhas.

Perfil DSAS	NSM Evento 5
1	-0.6
2	0.1
3	0.1
4	-0.1
5	3.6
6	0.2
7	-0.5
8	0.0
9	-0.2
10	-0.1
11	-1.2
12	0.1
13	-0.3
14	0.1
15	1.3
16	-0.9
17	-0.2
18	0.4
19	1.1
20	-0.5
21	1.3
22	0.0
23	2.8
24	1.3
25	0.6
26	1.4
27	0.3
28	0.2
29	-0.7
30	-0.6
31	-3.8

14. APÊNDICE H – GRÁFICO NSM

Resultados da análise da variação da linha de costa, obtidos com o DSAS empregando o método NSM em cada evento estudado, apresenta ainda NSM médio dos eventos e o NSM de todo o período do estudo.



15. APÊNDICE I – VOLUMES CAMPING DA BARRA

Volume em m³/m dos perfis transversais a praia no Camping da Barra

Perfil / Campo	15-ago 2011	28-ago 2011	10-mai 2012	26-mai 2012	26-jul 2012	3-ago 2012	23-ago 2012	6-set 2012
P08	65,5	56,4	88,8	70,8	76,3	73,7	72,1	76,1
P09	72,6	69,1	97,1	85,0	90,9	89,9	90,7	87,4
P10	73,0	69,1	104,6	77,0	85,4	87,7	85,6	85,4
P11	58,0	51,3	86,5	63,4	70,3	64,1	69,4	66,4
P12	39,6	33,1	73,5	49,9	51,6	57,2	55,8	52,1
P13	73,9	71,7	108,2	88,7	97,3	88,3	87,1	91,4

16. APÊNDICE J – VOLUMES TAQUARINHAS

Volume em m³/m dos perfis transversais a praia em Taquarinhas.

Perfil / Campo	17-mai 2012	30-mai 2012	23-ago 2012	06 – set 2012
P01	151,5	138,0	107,6	133,1
P02	160,4	158,1	157,2	157,9
P03	172,0	159,5	183,7	172,1