UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

PROPOSTA DE UMA TECNOLOGIA PARA LEVANTAMENTO DA MORFOLOGIA COSTEIRA COM APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA GNSS

César Peixoto da Rocha

Recife, janeiro de 2009.

CÉSAR PEIXOTO DA ROCHA

PROPOSTA DE UMA TECNOLOGIA PARA LEVANTAMENTO DA MORFOLOGIA COSTEIRA COM APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA GNSS

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco.
Orientadora: Profa. Dra. Tereza C.M. Araújo
Co-orientador: Prof. Dr. Francisco J. B. Mendonça.

Recife – 2009

R672p **Rocha, Cesar Peixoto da.**

Proposta de uma tecnologia para levantamento da morfologia costeira com aplicação de tecnologia GNSS / Cesar Peixoto da Rocha. - Recife: O Autor, 2009.

xiv, 120 folhas, il : tabs. grafs., figs

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2009.

Inclui Bibliografia e Apêndice.

1. Oceanografia. 2.Data verticais. 3.Sistemas GNSS. 4.Linhas de Costa. 5. Curva de Maré. 6. *Run-up*. I. Título

UFPE

551.46 **BCTG/ 2009-050**

PROPOSTA DE UMA TECNOLOGIA PARA LEVANTAMENTO DA MORFOLOGIA COSTEIRA COM APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA GNSS

CÉSAR PEIXOTO DA ROCHA

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora em 27.01.2009.

Examinadores:

Profª Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo
Departamento de Oceanografia – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Carmen Medeiros Limongi
Departamento de Oceanografia – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Lucilene Antunes Correia M. de Sá
Departamento de Cartografia – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Paulo César Lima Segantine
Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo

Prof. Dr. João M. Alveirinho Dias
Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente – Universidade do Algarve

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese a todos aqueles que de alguma forma farão uso e proveito dos conceitos e idéias aqui apresentados e, principalmente, aos meus filhos, minha constante fonte de superação.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos ao Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE pela gentileza de ceder os receptores GPS usados nessa tese, aos professores do Departamento de Oceanografia da UFPE, pelo esforço e dedicação aos que nele estudam, a CAPES pela concessão de uma bolsa de estudos ao doutorando, a Universidade Federal de Alagoas, pelo incentivo à capacitação dos docentes a ela vinculados e as demais pessoas e instituições que contribuíram de forma direta ou indireta para a elaboração desse trabalho.

ÍNDICE

Folha de aprovação iii

Dedicatória iv

Agradecimentos v

Índice vi

Lista de Figuras x

Lista de Tabelas xii

Abreviaturas e siglas xiii

Resumo 1

Abstract 3

CAPÍTULO 1 5

- Introdução 6
- Organização da tese 9
- Hipótese e Objetivos 10
- Justificativa 10
- Fundamentos teóricos 12
- Métodos 18
  - Locais de estudo 18
  - Metodologia aplicada 18
  - Equipamentos 19

CAPÍTULO 2 21

Methodology for location of shorelines using positioning three-dimensional for GPS: a case study at Sauaçui beach, Northeast Brazil

- Abstract 22
- Introduction 22
- Basic theory 23
- Methods 25
- Result and Discussion 28
- Conclusion 34

Acknowledgments 35
Literature cited 36
Resumo 37

CAPÍTULO 3 38

Aplicação de metodologia alternativa para localizar e monitorar linhas de costa usando técnicas de posicionamento pelo GNSS: Um estudo de caso na praia de Sauaçui, Nordeste do Brasil

Resumo 39
Abstract 40
Introdução 41
Metodologia 43
Localização do experimento 43
Georreferenciamento da área de estudo 45
Veículo transportador da antena do GPS 48
Medição do *run-up* 49
Alturas de marés e correlação dos referenciais verticais 49
Método interpolador usado para gerar o DEM 51
Perfis de controle 53
Erros 55
Erros instrumentais 55
Erros metodológicos 57
Erros associados ao processo de interpolação 57
Erros associados á redução das alturas e a inclinação entre os ref. Verticais 58
Resultados e Discussão 59
Resultados 59
Sobre o indicador de linha de costa 59
Redução das alturas GPS para o referencial de nível das marés 60
Monitoramento da linha de costa 60
Discussão 63
Conclusão 68
Agradecimentos 69

Literatura citada 70

CAPÍTULO 4 72

Shoreline monitoring using GPS positioning three-dimensional of the Japaratinga beaches, brazilian northeast

Resumo 73

Abstract 73

Introduction 74

Methodology 75

Location of the experiment 75

Georreferencing of the studied area 77

GPS antenna transportation vehicle 78

Run-up measurement 78

Sea height and correlation of the vertical references 78

Interpolator method utilized to generate the DEM 79

Errors 79

Instrumental errors 79

Methodological errors 80

Results and Discussion 81

Results 81

On the shoreline indicator 81

Reduction of the GPS heights for the sea level reference 82

Geration of the DEMs and shoreline monitoring 84

Control 85

Shoreline Monitoring 86

Discussion 89

Conclusion 91

Acknowledgments 92

Literature cited 93

CAPÍTULO 5 95

Resultados e Discussão 96

CAPÍTULO 6 102
Conclusões 103
CAPÍTULO 7 106
Bibliografia 107
APÊNDICES 111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conceito de linha de costa adotado nos estudos dessa tese 09

Figura 2 - Conceito de *run-up*. Adaptado de Moore et al. (2006) 14

Figura 3 - Detalhe mostrando o dispositivo de centragem forçada afixado na extremidade do pilar de concreto 20

Figure 2.1 - Outline Sauaçui Beach, located between Maceió and Paripueira cities, Alagoas State, Northeast Brazil. Source: adapted of IBGE. 26

Figure 2.2 - Outline vehicle antenna GPS transport. Stabilize distance in relation soil and the vertical position permanently. 27

Figure 2.3 - Outline of measured wave's *run-up* through geometric leveling based in ocean static level. 27

Figure 2.4 – Tide curve April 19, 2008, where can see the height of the water line in the instant that colleted data GPS survey. 31

Figure 2.5 - Outline of reduction of the GPS height for sea level. 31

Figure 2.6 - Digital model the researched beach, where stands out the level curve in the quota 2.9m, above the referential of the level tide, that represents of the shoreline study. 33

Figure 2.7 - Outline of vertical data whit curvature different and eventual differences among of the ellipsoid curvature surface and in the water line curvature, that its can horizontal and vertical mistakes. 34

Figura 3.1 - Área de estudo. Fonte: Rocha et al. (no prelo, 2008) 43

Figura 3.2 - Foto da área de estudo 44

Figura 3.3 - Amostragem da arquitetura da distribuição dos perfis de praia. Os DEMs serão gerados com base nos pontos coordenados desses perfis. 47

Figura 3.4 - Foto do protótipo de um veículo apropriado para transporte da antena GPS 48

Figura 3.5 - Esquema de redução das alturas GPS ao referencial de nível das marés 50

Figura 3.6 - O *DEM* Sauaçui 2008 ilustra o produto final gerado pelo método interpolador em cada época do monitoramento, no qual a linha de costa, representada pela curva de nível na cota 2,9 m, encontra-se em destaque. Nessa figura também estão indicadas às posições dos perfis de controle AA, BB e CC, gerados através de nivelamento geométrico e reproduzidos com base no DEM. 52

Figura 3.7 - Os Perfis AA, BB e CC ilustram como foram efetivados os controles da precisão com que as linhas de costa estão localizadas 54

Figura 3.8 - Gráfico dos desvios padrão dos modelos gerados pelos métodos interpoladores 58

Figura 3.9 - Curva de maré do dia 19 de Abril de 2008, corrigida da diferença de longitude entre a estação maregráfica de Maceió e Sauaçui. Esta curva exemplifica como foram estimadas as alturas da maré nos respectivos instantes em que a antena GPS foi colocada sobre a linha d'água, em cada etapa do monitoramento. 59

Figura 3.10 - DEMs dos anos 2006, 2007 e 2008, sobrepostos. Esses DEMs mostram apenas a linha de costa de cada ano e a posição das seções 1, 2, 3 e 4, usadas para amostragem de deslocamentos pontuais no período monitorizado. As demais curvas de nível do modelo foram suprimidas para facilitar a visualização. 61

Figura 3.11 - Detalhe ilustrativo da interceptação de uma seção transversal à linha de costa, de onde podem ser subtraídas as informações necessárias ao cálculo analítico dos deslocamentos, no ponto de interesse. 62

Figure 4.1 – Scheme of the studied area, encompassing the two monitored beaches. 76

Figure 4.2 - Tidal curve on April 20th, 2008, corrected by the longitudinal difference between Suape's tide gauge station and the studied location. This curve exemplifies how the heights of the tides were estimated in the respective instants when the GPS antenna was placed over the waterline on each day that the beach profiles were generated. 82

Figure 4.3 - Sampling of the distribution architecture of the beach profiles. The DEMs were generated based on the coordinated points of these profiles. 84

Figure 4.4 - DEM of the Barreiras de Japaratinga beach, 2008, where the shoreline in a 2.8 m quota is highlighted. The DEM of the Pontal do Boqueirão, 2008, as well as the DEMs referent to the years 2006 and 2007 were generated in the same shape. 85

Figure 4.5 - Shorelines of the Barreiras de Japaratinga beach, in the quota of 2.8 m, referent to the years 2006, 2007 and 2008. This figure shows also the positions of the sections 1, 2 and 3, which intercept the shorelines where the dislocations were more representatives during the monitored years. 86

Figure 4.6 - Shorelines of the Pontal do Boqueirão beach, in the quota of 2.8 m, referent to the years 2006, 2007 and 2008. This figure shows also the positions of the sections 1, 2 and 3, which intercept the shorelines where the dislocations were more representatives during the monitored years. 87

Figure 4.7 - Illustrative detail of the interception of a section transversal to the shoreline, from where it is possible to extract the necessary information for the analytic calculation of the displacements on the interest points. 88

LISTA DE TABELAS

Table 2.1 - Sampling of the measures (2%) of the wave's *run-up* Sauaçui beach. 29

Table 2.2 - Sampling of the coordinated points used to generate the digital model of the study area. 32

Tabela 3.1 - Alturas GPS X Alturas produzidas pelos DEMs, nos pontos de controle. 46

Tabela 3.2 - Constantes de redução das alturas GPS para o referencial de nível das marés. 47

Tabela 3.3 - Demonstrativo de cálculo dos deslocamentos pontuais, com base na variação das coordenadas dos pontos das respectivas linhas de costa, interceptadas pela seção perpendicular a estas linhas no ponto de interesse. 63

Table 4.1 – GPS-heights reduction constants for the sea level reference. 82

Table 4.2 - Exhibit of a few coordinated points in the years of 2006, 2007 and 2008, whose GPS heights (h_i) were reduced to the sea level reference (h'_i). 83

Table 4.3 - Exhibit of the calculation of the displacements in sections 1, 2 and 3, based on the variation of the respective shoreline points coordinates, on the Barreiras de Japaratinga and Pontal do Boqueirão beaches, referent to the years 2006, 2007 and 2008. 89

ABREVIATURAS E SIGLAS

a	Semi-eixo maior do elipsóide
A	Altura de maré no instante t
AP	Estado do Amapá
AL	Estado de Alagoas
C	Centro da Terra
CT	Sistema de coordenadas convencional terrestre
DI	Direito Internacional
DHN	Diretoria e Hidrografia e Navegação
DN	Diferença de nível
e	Excentricidade do elipsóide
E	Coordenada Este no sistema plano retangular UTM
GERCO	Gerenciamento costeiro
GPS	*Global Positioning Sistem*
GNSS	*Global Navigation Satellite System*
GOOS	*Global Ocean Observing System*
h	Altura elipsoidal
hi	Alturas elipsoidais reduzidas ao referencial de maré
H	Altitude ortométrica
HWL	*High Water Line*
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
k	Constante de redução das alturas elipsoidais para o referencial de maré
LG	Sistema de coordenadas geodésico local
MHW	*Mean High Water*
MMA	Ministério do Meio Ambiente
N	Coordenada Norte no sistema plano retangular UTM
NR	Nível de redução das marés
OR	Sistema de coordenadas orbitais
ORLA	Projeto Orla
OTF	*On the fly*

PE	Estado de Pernambuco
R	*Run-up*
Ri	*Run-up* de uma onda qualquer
RMPG	Rede maregráfica permanente para geodésia
R_0	Raio médio da Terra
SC	Estado de Santa Catarina
S_P	Distância esférica na altura H_P
SPU	Serviço Público da União
UNESCO	*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*
UTM	Universal Transverso de Mercator
WR_L	Medida inclinada do espraio da onda sobre a face de praia
ϕ	Latitude geográfica geodésica do lugar
λ	Longitude geográfica geodésica do lugar
β	Ângulo de inclinação da face de praia

RESUMO

O ambiente costeiro é berçário natural para um grande número de espécies marinhas, principalmente onde ocorrem mangues e recifes, que funcionam como abrigo natural para a desova e início de vida de muitas espécies marinhas. A linha de costa está inserida nesse ambiente, pois representa o limite entre o mar e o continente, no alcance máximo das ondas, onde cessa a ação marinha efetiva. Entretanto, a dinâmica de movimentação das marés torna esse limite uma zona de fronteira de difícil demarcação e monitoramento. Além disso, as alterações geomorfológicas, muitas vezes catalisadas pelas interferências antrópicas, diminuem a capacidade de regeneração natural das praias, dificultando o gerenciamento desse ambiente.

Em virtude disso, essa tese desenvolveu alguns experimentos para localizar e monitorar linhas de costa nas praias de Sauaçui e Japaratinga, localizadas no Estado de Alagoas – Brasil, aplicando tecnologia de posicionamento dos sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite System*), com base em um indicador de linha de costa com representação matemática, correspondente à máxima altura alcançada pelas marés nos últimos 20 anos, acrescida do *run-up*, correspondente ao espraio das ondas.

O GPS (*Global Positioning System*), que a partir deste ponto será designado apenas GPS, consiste em um sistema de posicionamento por satélite pertencente ao GNSS e pode gerar posicionamentos no modo dinâmico relativo, com precisão de poucos centímetros e suas técnicas já vem sendo aplicadas em programas de gerenciamento costeiro em várias partes do mundo. Entretanto, as alturas geradas pelo GPS são elipsoidais e representam um problema para o uso desse sistema em aplicações que envolvem altitudes, como é o caso das linhas de costa, que são relacionadas com o nível do mar.

A técnica proposta nessa tese gera o modelo de elevação digital da praia, com base em perfis de praia, no mesmo referencial de nível das marés e nele identifica a linha de costa. Para isso, os referenciais verticais de maré e do GPS são correlacionados através de um artifício apropriado que requer o conhecimento das alturas de maré e do GPS em um mesmo local. Os perfis de praia aqui referidos são constituídos de pontos coordenados gerados pelo deslocamento de uma antena GPS em ziguezague ao longo da praia.

Essa metodologia mostrou-se adequada para localizar e monitorar linhas de costa com precisão sub-métrica e tem como principal vantagem o fato desse modelo facilitar a visualização do comportamento da linha d´água, sendo apropriado para simular o deslocamento do mar sobre

o continente. Os resultados mostram a localização geográfica das linhas de costa das praias objeto desse estudo, expressas no Sistema de Projeção Cartográfica Universal Transverso de Mercator (UTM). O monitoramento da linha de costa provém da comparação do seu traçado, superpondo-se os modelos produzidos em diferentes épocas e indica comportamento sazonal das linhas de costas tanto nas praias de Japaratinga (máximo de 6,0 m), como na praia de Sauaçui (máximo de 8,0 m). Além disso, como o referencial do GPS tem grande estabilidade, ele pode ser usado no monitoramento da estabilidade dos marcos de apoio, cujas coordenadas são suscetíveis de alterações, em havendo subsidências do solo e/ou movimentações de placas da crosta terrestre.

Palavras-chave: *DEM*; *Data* verticais; *HWL*; Linha de costa; *Run-up*; Curva de maré.

ABSTRACT

The coast environment is the natural birth place for a great number of sea species, especially where mangroves and reefs occur, due to better acclimatization and salinity. The shoreline is inserted in this environment, because it represents the limit between sea and land, on the maximum reach of the waves, where the effective marine action ends. However, the tidal movement dynamics make this limit a border zone of difficult demarcation and monitoring. Besides, the geomorphological changes, often catalyzed by human interferences, diminish the natural regeneration capacity of the beaches, making it difficult to manage this environment.

Because of that, this study has for its goal to locate the shorelines, applying technology of positioning based in GNSS (Global Navigation Satellite System), in based on a shoreline indicator with mathematical representation, correspondent to the maximum height reached by the tides in the last 20 years, added of the *run-up*, referent to the spread of the waves.

The GPS can generate three-dimensional positions on the dynamic relative mode, with a precision of centimeters, and its techniques have also been applied in coast management programs throughout the world. However, the heights generated by the GPS are ellipsoidal and represent a problem for the utilization of this system in applications that involve heights, as in the case of shorelines, which are related to the sea level.

The technique here presented generates the digital beach elevation model, based on beach profiles, on the same sea level reference and identifies in it the shoreline. In order to do so, the GPS and the tidal vertical references are correlated through a proper artifice which requires the knowledge of the GPS and tidal height in a same point. The beach profiles here addressed are constituted of coordinated points generated by the displacement of a GPS antenna placed in a zigzag manner throughout the beach.

This approach has proved itself adequate to locate and monitor shorelines with a precision of about 0.5 m and has as its main advantage the fact that this model facilitates the waterline behavior visualization, being appropriate to simulate the dislocation of the sea over the continent. The results show the geographical location of the shoreline of the beaches that were studied, expressed in the UTM (Universal Transverse of Mercator) format. The shoreline monitoring comes from the comparison of its outline, overlapping the models produced in different times and indicate shoreline seasonal behavior in Japaratinga beach (maximum of 6.0 m), as well as in Sauaçui beach (maximum of 8.0 m). Besides, since the GPS reference has great stability, it can

be used on the monitoring of the support benchmarks' stability, whose coordinates are susceptible to alterations, whenever there is ground subsidence's and/or moves by the Earth's crust plaques.

Keywords: DEM; vertical data; HWL; Shoreline; *Run-up*; Tidal curve.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

A interface entre o mar e o continente ocorre em uma faixa costeira compreendida entre o máximo e o mínimo nível de elevação da mais elevada maré de sizígia de uma série temporal, acrescida da sobre elevação da onda. Trata-se de uma das feições com maior dinâmica de transformação do planeta, que deve ser creditada às variações reais ou aparentes do nível do mar, por diversas causas como: tectono-eustásia, glacio-eustásia, geóide-eustásia, sedimentos-eustásia e movimentações cotidianas e sazonais como as variações de marés, tempestades, ondas e transporte de sedimentos, cujos efeitos dependem da geomorfologia da praia e que muitas vezes são contidas ou agravadas pelas intervenções humanas. As flutuações reais do nível relativo do mar (eustasias) são avaliadas pelo estudo das transgressões e regressões nas plataformas de todos os continentes, chamadas eustáticas, enquanto as alterações regionais ou aparentes (tectonismo e isostasia) são avaliadas pelo estudo das transgressões e regressões de uma plataforma particular, pois dizem respeito aos afundamentos ou elevações regionais, sendo denominada tectônica (Suguio *et al*., 1985).

De acordo com Muehe (1996), para definir adequadamente uma faixa de proteção litorânea é preciso considerar a taxa anual de retrogradação/progradação, acrescida da taxa de retrogradação estimada em função das previsões de subida do nível do mar, além de considerações específicas de aspectos estéticos paisagísticos, no caso de áreas urbanas. As larguras das faixas de proteção costeira variam de acordo com a cultura, as necessidades e os riscos característicos de cada região.

No caso do Brasil, o uso do solo litorâneo foi regulamentado pelo Decreto-Lei n° 9.760 de 05 de Setembro de 1946 (Brasil, 1946). Este decreto doutrinou a posse dos imóveis de propriedade da União, atribuindo à Marinha do Brasil o domínio sobre toda a faixa litorânea com 15 braças craveiras[1] de largura, medidas a partir da linha média de preamares de 1831. Os principais objetivos desse decreto foram resguardar uma faixa litorânea que garantisse a livre circulação das tropas federais, para a defesa do território nacional e instituir a cobrança de impostos e laudêmios (Meireles, 2006).

Em 1998, o Governo Federal promulgou a Lei n° 9.636/98 (SPU, 2005), que revogou alguns artigos do DL 9.760/46. Essa lei reafirmou a autonomia da União sobre as terras de marinha e

[1] Medida linear constituída de 10 palmos de 0,22m. Assim, 15 braças craveiras equivalem à 33m. Essa largura era considerada suficiente para circular um contingente militar disposto em uma testada de nove soldados.

estabeleceu a obrigatoriedade de compra dessas terras por parte dos posseiros, ressalvado no § 3° do artigo 79, o direito de aforamento aos posseiros que comprovassem que em 15 de fevereiro de 1997 já tinham a posse da terra há pelo menos 01 ano. A aplicação dessa lei baseia-se na linha de costa instituída pelo Decreto-Lei 9760/46, ou seja, linha média de preamares de 1831 (Lima, 2002).

De acordo com Mesquita *et al.* (2003), o indicador da linha da costa, instituído pelo Decreto-Lei 9760, levou em conta apenas à posição da linha d'água média das máximas marés de 1831, observadas no estado do Rio de Janeiro, onde a amplitude média das marés gira em torno de 0,75 m. Como agravante, não há qualquer registro do *datum* de referência das marés àquela época e nem poderia, pois as estações maregráficas permanentes ao longo da costa brasileira, só vieram a acontecer no período 1905 a 1939. Portanto, esse indicador precisa ser reavaliado, tanto do ponto de vista da consistência, quanto do ponto de vista da grandeza do universo a que se propõe atender. Nesse sentido, encontra-se em tramitação no Senado da República do Brasil, o projeto de lei (SF-PLS-617/1999) que visa alterar o *caput* do artigo 2º do Decreto-Lei nº 9.760/46. Contudo, o objetivo desse projeto é apenas substituir a linha da preamar-média de 1831, instituída pelo Decreto-Lei 9.760 pela linha de preamar média do ano 2000 (Rodrigues, 2002).

As considerações sobre a zona costeira brasileira vão além da faixa de 33 m sob o domínio do estado Brasileiro. De acordo com a Secretaria do Patrimônio da União (SPU), a divisão geográfica da zona costeira brasileira deve ser feita com base no Decreto 5.300, de 07 de dezembro de 2004. Esse decreto regulamentou a Lei 7.661/1998, que trata do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, estabelece as normas gerais de gestão e as bases para formulação de políticas de uso da zona costeira, a qual é subdividida em duas faixas. A Faixa I abrange 12 milhas náuticas (22,224 km) de mar territorial, medidas a partir da linha de costa e a faixa II, abrange todo o espaço continental sob influência direta do oceano (SPU, 2005; Rezek, 2002). Porém, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as faixas de mar territorial e do continente têm diferentes dimensões. A faixa de mar territorial compreende 6 milhas (11,112 km) e a faixa continental compreende 20 km, sendo ambas as medidas efetuadas sobre uma perpendicular à linha de costa, tomando esta por origem (IBGE, 2006).

A convenção de Genebra sobre o Direito do Mar, realizada em Montego Bay, Jamaica, em 10 de dezembro de 1982, assumida pelo Brasil a partir do Decreto 1.530, de 22 de Junho de 1995, estabeleceu que a soberania do estado estende-se a uma zona mar adjacente às suas costas,

limitada a 12 milhas, medidas a partir da baixa-mar do litoral continental e insular brasileiro (Mello, 2004). Entretanto, segundo Bonavides (2006), essa medida é feita a partir da linha de base correspondente à baixa-mar, que o DI (direito internacional) não definiu, apenas considerou como sendo a linha indicada nas cartas marítimas de grandes escalas.

Além dessas controvérsias, é preciso salientar que países com litorais extensos como é o caso do Brasil, onde às amplitudes das marés alcançam variações da ordem de dez metros entre os portos de Imbituba, em Santa Catarina (latitude 28,2°S) e Santana, no Amapá (latitude 0°), ao que se acrescentam as variações do *run-up*, precisam de um indicador de linha de costa associado com as alturas das marés. Outro fator importante é que os estudos preliminares para implantação da RMPG (Rede Maregráfica Permanente para Geodésia), detectaram propagação de erros de nível da ordem de 14 cm entre os portos de Imbituba e Santana. (IBGE, 2006). Com base nos fundamentos científicos difundidos por Torge (2001), essa propagação de erros pode ser creditada a eventuais anomalias na distribuição das massas das rochas que constituem a crosta terrestre, às diferentes distâncias dos pontos da superfície ao centro de massa da Terra ou as diferentes velocidades tangenciais as quais os pontos da superfície terrestre situados entre o Equador e os pólos podem estar submetidos. Erros altimétricos nessa ordem de grandeza significam deslocamento horizontal de 140 cm na localização de uma linha de costa em praias com inclinação de 10%.

O conceito de linha de costa nesse estudo fundamenta-se na curva de nível do ambiente praia, mais próxima à linha d'água, cuja cota equivale ao nível da mais elevada maré (máxima HWL) dos últimos 20 anos, acrescida da sobre elevação correspondente ao espraio das ondas sobre a face da praia (*run-up*). Essa linha representa o limite superior do espaço costeiro suscetível de emersões e imersões dentro dessa escala temporal e deve ser considerada como local de risco potencial do limite alcançado pelo mar (Figura 1).

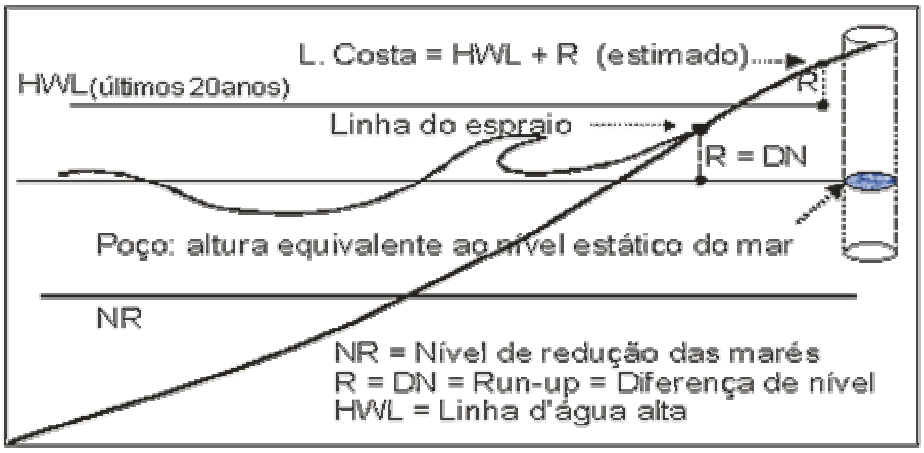

Figura 1 - Conceito de linha de costa adotado nos estudos dessa tese.

1.2. ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese está composta por sete capítulos sobre o desenvolvimento e a aplicabilidade de uma proposta metodológica para localizar linhas de costa usando tecnologia de posicionamentos pelo GNSS. O capítulo 1 é constituído de: introdução, objetivos, áreas de estudo, justificativas, fundamentação teórica e métodos. Entretanto, alguns desses tópicos trazem apenas informações complementares à abordagem sucinta apresentada nos capítulos 2, 3 e 4, constituídos de artigos científicos enviados para publicação. Esses artigos contêm os resultados de aplicações da metodologia proposta e foram repassados à tese nos formatos das respectivas editoras, exceto no que diz respeito à numeração das figuras, uma vez que estas passaram a incorporar o número do capítulo em que foram inseridas. Assim sendo, o capítulo 2 apresenta o artigo: ***"Methodology for location of shorelines" using the 3D-GPS positioning: a case study at Sauaçui beach, Northeast Brazil*** (*in-press*, no *Journal of Coastal Research*), o qual tem por objetivo principal, demonstrar que é possível localizar linhas de costa, usando técnicas de posicionamento tridimensional pelo GPS. O Capítulo 3 mostra o artigo, "**Estudo das variações da linha de costa na praia de Sauaçui, usando técnicas de posicionamento tridimensional pelo GPS***"*, encaminhado à *Revista de Gerenciamento Costeiro Integrado (RGCI)*, no qual são comparadas as posições ocupadas pela linha de costa na referida praia, geradas nos anos de 2006, 2007 e 2008. O capítulo 4 consiste no artigo "***Shoreline monitoring using 3D-GPS positioning of the Japaratinga beaches, brazilian northeast***", que trata do monitoramento de duas praias localizadas no município de Japaratinga, durante o período 2006 a 2008. Esse artigo foi encaminhado ao *Brazilian Journal of Oceanography*. O capítulo 5 apresenta uma discussão aberta sobre a aplicabilidade da metodologia

proposta. O capítulo 6 apresenta as conclusões finais desse estudo e o Capítulo 7 as referencias bibliográficas.

1.2 HIPÓTESE e OBJETIVOS

1.2.1 Hipótese

- ✓ É possível definir a posição geográfica de uma linha de costa, através de posicionamento tridimensional, aplicando tecnologia GNSS?

1.2.2 Objetivo geral

- ✓ Desenvolver uma metodologia para localizar e monitorar linhas de costa, usando posicionamentos tridimensionais geodésicos pelo GPS *(Global Positioning System)*, com precisão submétrica.

1.2.3 Objetivos específicos

- ✓ Estabelecer um conceito matemático para indicar linhas de costa;
- ✓ Testar uma alternativa prática para medir o *run-up*;
- ✓ Testar o protótipo de um veículo adaptado para transportar a antena do GPS;
- ✓ Estabelecer uma correlação direta entre os referenciais verticais do GPS e das marés;
- ✓ Gerar modelos de elevação digital adequados para simular o deslocamento das marés;

1.3 JUSTIFICATIVA

O gerenciamento dos espaços costeiros vem sendo alvo de intensa discussão em várias partes do mundo, em virtude do continuado crescimento das taxas de ocupação das terras litorâneas. Como também ocorre em tantos outros lugares, as praias objetos desse estudo, estão situadas em região de clima tropical, onde o mar contém águas claras, sob temperatura agradável ao banho e agraciadas com apreciáveis belezas cênicas. Isto se traduz em grande atração turística e acelerada exploração imobiliária, além da pesca predatória e estes, acrescidos de outros fatores antrópicos como a exploração de jazidas minerais e a ocupação desordenada do solo litorâneo, vem desencadeando processos erosivos e ameaçando a extinção de espécies marinhas, a exemplo do Peixe Boi (IBAMA, 2005), que juntamente com outros projetos como o GOOS, o GERCO e o ORLA, tem por objetivo gerir os problemas que afetam o gerenciamento costeiro. O projeto

Recifes Costeiros foi criado em 1997 para proteger os ecossistemas costeiros e garantir o uso sustentável dos recursos naturais. Cobre a maior área de conservação ambiental marinha da costa brasileira, desde o litoral Norte de Alagoas até o litoral Sul de Pernambuco, onde ocorrem grandes cadeias de recifes e vastos manguezais (IBAMA, 2005). O projeto GOOS foi proposto pela UNESCO, em parceria com a Organização Meteorológica Mundial e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (DHN, 2005). O GERCO é um programa de gerenciamento costeiro, vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, que faz parte do Plano Nacional Brasileiro de Gerenciamento Costeiro, aprovado pela Resolução Ministerial 01, de 21 de novembro de 1990, cujo principal objetivo é estabelecer normas gerais para a gestão ambiental da zona costeira (MMA, 2005; da Silva, J., 2003). E, o projeto ORLA foi criado pelo Ministério do Meio Ambiente do Brasil, com a finalidade de desenvolver as prefeituras municipais na gestão da orla marítima, em atendimento à Lei 7.661/88 do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e a Lei 9.636/98, que dispõe sobre a regularização de bens imóveis sob domínio da União (MMA, 2005).

O desenvolvimento desses projetos passa pela demarcação dos ambientes que são objeto de conservação, cuja referência é a linha de costa. Não apenas no caso do Brasil, como em várias outras partes do mundo, essa referência não está muito bem especificada. Muitas pesquisas (Pajak e Leatherman, 2002; Mendonça *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2002; Parker, 2003; Moore *et al.*, 2006), citam os mais variados indicadores de linha de costa, como por exemplo, linha de vegetação, linha de refluxo das ondas, *Mean High Water* (MHW) e *High Water Line* (HWL). Entretanto, a menos que esses indicadores sejam substituídos por marcos de concreto edificados na praia, cada vez que forem observados, poderão ter mudado suas características e localização, prejudicando a comparação de resultados dos estudos, ainda que referentes a uma mesma região.

Para os propósitos do gerenciamento costeiro, ao definir um indicador de linha de costa, é preciso levar em conta o limite de ação marinha efetiva. Esse limite corresponde ao espraio das ondas da mais alta das marés, em dia de mar agitado, cuja dinâmica é de difícil acompanhamento, pois a ocorrência dos valores de pico das HWL e do *run-up*, necessariamente, não ocorre concomitantemente. Assim, é preciso delimitar um período para exame da máxima HWL e estimar o valor do *run-up*, com base no regime de ondas da praia monitorada. Além disso, também é preciso correlacionar esse indicador com as alturas de marés, uma vez que a ocorrência da HWL de referência pode estar em um passado não muito próximo e suas marcas não sejam mais visíveis.

Por outro lado, para melhor identificar as causas das alterações de traçado de uma linha de costa, faz-se necessário o uso de sistemas de referência para as coordenadas geográficas, isentos dos efeitos provenientes das acomodações da crosta terrestre, como é o caso dos sistemas GNSS, que podem ser usados para monitorar eventuais alterações de posicionamentos geográficos dos marcos que servem de base para definir as posições geográficas dos pontos em uma área de estudo (Martim *et al.*, 1985).

1.4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A localização e o monitoramento de linhas de costa pela metodologia que aqui se propõe, consiste em uma aplicação da tecnologia GNSS, cujo sistema abrange o GPS (Sistema de Posicionamento Global), na Oceanografia. Os processos de mensuração usando a tecnologia GNSS são fundamentados nos conceitos da Geodésia, que levam em conta a curvatura terrestre. Por seu lado, a dinâmica de uma linha de costa depende de fatores como as amplitudes das marés, as ondas e correntes e eventuais subsidências do local. Por isso o uso da metodologia proposta nessa tese, requer a conjugação de conceitos multidisciplinares de algumas áreas do conhecimento, além da Oceanografia, como Cartografia, Geologia, Geodésia, Informática e Astronomia.

Os embasamentos teóricos específicos que fundamentaram os testes aplicativos para localizar e monitorar as linhas de costa nas respectivas áreas de estudo será discutido com mais profundidade nos artigos que compõem essa tese. Por isso, aqui serão abordados resumidamente alguns conceitos complementares.

De acordo com Sugguio (1985), a linha de costa corresponde ao limite entre o continente e a porção adjacente ao mar, no alcance máximo das ondas, onde cessa a efetiva ação marinha. Esse limite é alcançado de fato por uma HWL, acrescida do *run-up* das ondas, cuja idéia central já vem sendo abordada por conceituados pesquisadores, como por exemplo, Moore *et al.* (2006). A adequada conceituação do indicador para a linha de costa é muito importante, pois a dinâmica de transformação dessa linha depende de vários fatores, entre os quais se destaca as amplitudes das marés, o regime de ondas e a morfodinâmica das praias. Segundo Muehe (1996), o movimento das ondas representa um dos fatores de maior contribuição nas alterações morfológicas de uma praia. Portanto, a morfodinâmica das praias está correlacionada com o grau de dissipação ou refletividade das ondas que espraiam em sua superfície e vice-versa.

Hoefel (1998) classifica as ondas de acordo com o modo de arrebentação em: progressivas ou deslizantes (*spilling*), mergulhantes (*pluning*) e ascendentes (*colapsing*). As ondas deslizantes são as que empinam gradualmente e dissipam sua energia ao longo da pista de surfe, sendo típicas das praias com baixa declividade, denominadas dissipativas; as ondas mergulhantes são as que empinam abruptamente e quebram em forma de tubo, concentrando a dissipação de toda sua energia em um curto intervalo do perfil de praia e são típicas de praias com inclinação moderada à alta; e, as ondas ascendentes são as que não chegam a quebrar, devido à elevada declividade da praia. Seu refluxo interage com as ondas subseqüentes. Portanto, a combinação da geomorfologia da praia com o regime das ondas incidentes, são os grandes responsáveis pela morfodinâmica das praias.

O *run-up* representa a sobre elevação das ondas em relação ao nível estático do mar, ou seja, o nível alcançado pela linha de espraio, medido na direção vertical, tomando-se por origem o nível estático do mar (Moore *et al.*, 2006), conforme mostra a Figura 2. Isso significa que a linha de espraio correspondente às marés de uma mesma altura, podem alcançar diferentes altitudes no continente, de acordo com o estado de agitação das ondas. Os valores do *run-up* podem ser estimados a partir de modelagens em laboratório ou medidas diretas efetuadas na praia. Seelig e Ahrens (1996) apresentam uma equação para medir o *run-up* com base nas relações métricas dos triângulos retângulos (Equação 1, cujos parâmetros são mostrados na Figura 2).

$$R_i = (WR_L)_i \cdot sen(\beta) \qquad (1)$$

$R_i \rightarrow$ *representa o run – up de uma onda qualquer*

$WR_L \rightarrow$ *medida do espraiamento da onda sobre a face da praia*

$\beta \rightarrow$ *ângulo de inclinação da praia*

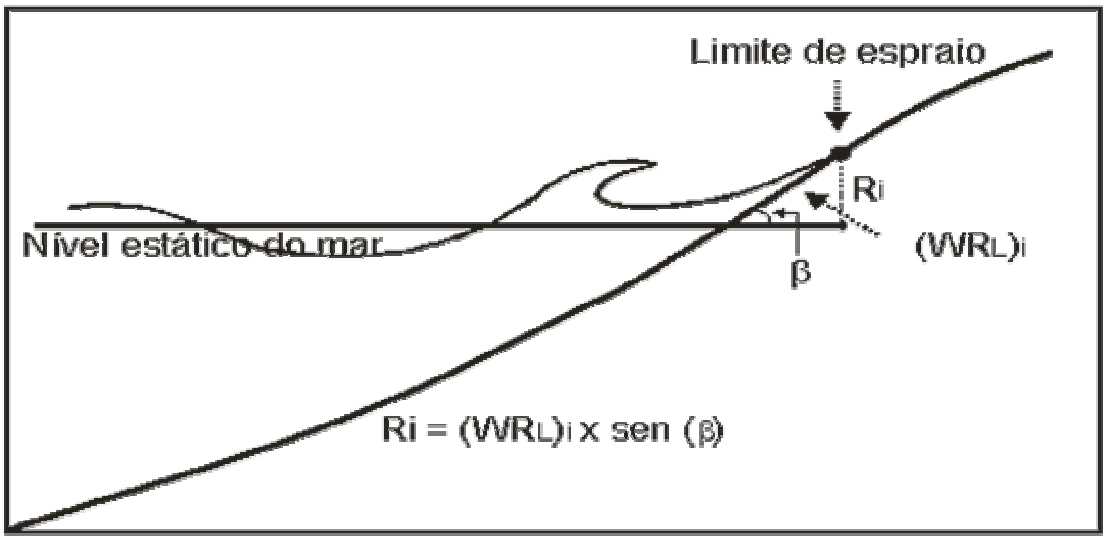

Figura 2. Conceito de *run-up.* Adaptado de Moore, *et al.* (2006).

Entretanto, os processos da mensuração direta do *run-up* dependem do conhecimento do ponto no perfil de praia correspondente ao nível estático do mar, cuja identificação é dificultada pela ação das ondas. As avaliações do *run-up* para fins de gerenciamento costeiro, devem pressupor uma condição de mar agitado, pois entre suas metas certamente estará incluída a conservação do ambiente praial até o limite da influência direta do mar.

Outro fator de influência relevante sobre as linhas de costa diz respeito ao comportamento das marés. Em observância à lei da gravitação universal, as massas d'água são atraídas por forças internas inerentes à massa da própria Terra e por forças externas, geradas pelos componentes celestes, dentre os quais se destacam o Sol e a Lua. De acordo com os fundamentos teóricos da geodésia, como por exemplo, Torge (2001), as componentes de força interna gerada pela massa da própria Terra detêm o movimento inercial das massas d'água, gerado pelo movimento de rotação da Terra e obriga a superfície do mar a ajustar-se em torno da curvatura do geóide. Isso ocorre porque as diferentes densidades das rochas que compõem a crosta terrestre, bem como a distribuição espacial dos seus centros de massa, provocam um gradiente de atração gravitacional sobre as massas d'água, que causam suaves ondulações na curvatura da superfície do mar.

Além disso, as correntes marinhas provocadas pelas diferenças de temperatura da água, atração gravitacional exercida pelos astros, ação dos ventos, vertentes submarinas e pela força de Coriolis, podem causar empilhamento das massas d´água em determinadas regiões. No caso das zonas costeiras, as correntes de maior influência são as correntes de circulação superficial, caracterizadas

pelos deslocamentos horizontais, induzidos pelos ventos, com padrão de circulação semelhante ao da baixa atmosfera (Rollnic e Medeiros, 2006).

No contexto geral, o desnível de uma linha d´água causado pelo empilhamento de massas d´água não é significativo. Entretanto, é preciso estar atento, uma vez que eventuais desnivelamentos da linha d´água causarão distorções entre o traçado dessa linha e o traçado das curvas de nível do modelo de elevação da face de praia (Ross, 2007).

Embora raros e geralmente pouco intensos, os deslocamento das linhas de costa também podem estar associados à dinâmica de acomodação da crosta terrestre, principalmente nas zonas de subducção, que são mais suscetíveis de terremotos e erupções vulcânicas devido à tectônica das placas (Teixeira *et al.* 2000). De acordo com Martim *et al.* (1985), mensurar tais deslocamentos requer o uso de um referencial de observação externo, a exemplo do GPS. A base de referência dos sistemas GNSS são as coordenadas celestes, às quais está vinculado o sistema Convencional Terrestre (CT), o sistema de Coordenadas Orbitais (OR) do GPS, o sistema Geodésico mundial (G) e, por conseguinte, o respectivo sistema Geodésico Local (LG), ao qual está associado um elipsóide de referência (Rocha, 2000).

Os posicionamentos geográficos geodésicos pelo GPS podem ser gerados no modo absoluto ou relativo. No modo absoluto, também denominado *point positioning*, a antena de um único receptor coleta os sinais concomitantes de três ou mais satélites e as distâncias entre o satélite e o centro de fase da antena são determinadas com base nas observações do código da onda portadora. No modo relativo, tanto as observações de código quanto às de fase das portadoras podem ser tratadas a partir de pelo menos duas estações observando simultaneamente os mesmos satélites. Esta é uma condição necessária para minimizar ou cancelar os erros sistemáticos concomitantes àquelas estações. Essa técnica pode ser aplicada aos posicionamentos gerados através dos métodos: estático, rápido estático, *stop and go* e cinemático. Entretanto, para aplicar as técnicas de posicionamento no modo relativo, faz-se necessário conhecer as coordenadas de uma das estações ocupadas pelas antenas receptoras (Segantine, 2005).

Os posicionamentos cinemáticos são aplicáveis a linhas de base curtas, inferiores a 20 km, tendo a portadora por observável fundamental e requer a recepção ininterrupta dos sinais. Ao usar esse método, a ambigüidade pode ser resolvida pelo sistema OTF (*On The Fly*), com base na estimativa do método dos mínimos quadrados com algorítimo de procura. A ambigüidade representa o número inteiro de ciclos existente entre o satélite e o centro de fase da antena

receptora em um primeiro momento do levantamento. Quando a ambigüidade é resolvida a contento, pode-se obter uma precisão na medida da distância entre o satélite e o centro de fase da antena receptora da ordem de milímetros. Essa distância é calculada através do tempo de percurso do sinal, desde o satélite até o centro de fase da antena receptora e precisa ser corrigida, em virtude da defasagem de tempo proveniente da diferença entre as precisões dos relógios que equipam o satélite e o receptor do GPS. Nos métodos estático e rápido estático a ambigüidade pode ser resolvida pelo algorítimo de procura por estatística, com ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (Segantine, 2005).

Ao processar os dados armazenados em uma coletora GPS, originalmente, são geradas coordenadas referidas ao sistema cartesiano, o qual está vinculado ao centro de massa da Terra. Entretanto, os programas de processamento de dados GPS, oferecem opções para transformar essas coordenadas, referindo-as à superfície dos elipsóides cuja curvatura resulte uma melhor adequação à superfície de uma determinada região da Terra, como por exemplo, o elipsóide denominado SAD 69, bem como transformação de sistemas de coordenadas geográficas (ϕ; λ; h) para UTM (N; E; h). Portanto, ao expressar as coordenadas de um lugar, é preciso especificar o elipsóide de referência, em virtude da existência de vários modelos, cujos parâmetros são específicos. Um mesmo lugar geométrico da Terra será representado por diferentes coordenadas em diferentes *data* elipsoidais (Segantine, 1995).

Se as coordenadas forem expressas no formato N; E; h, do sistema UTM, será necessário especificar o meridiano central do fuso, pois no sistema de Mercator, o elipsóide de referência é fracionado em 60 fusos de 6°, nos quais podem coexistir pontos coordenados representados pelas mesmas grandezas. Nesse sistema, N representa a distância do ponto na direção Norte-Sul, com origem no paralelo do Equador, onde assume o valor 10.000.000 m para o hemisfério sul; E representa a distância do ponto na direção Este - Oeste, com origem no centro de cada um dos 60 fusos em que o paralelo do Equador está subdividido, denominado meridiano central (MC) do fuso, onde assume o valor 500.000 m; e, h representa a altura geométrica do ponto (Oliveira, 1983; Rocha, 2000).

Entretanto, as alturas informadas pelo GPS são relativas à superfície do *datum* elipsoidal e não podem ser comparadas diretamente com as altitudes, pois estas são relativas ao *datum* geoidal, ao qual estão associados os *data* de marés (Milbert, 2002). Os *data* usados para referências das marés,

por sua vez, são relativos aos níveis de redução (NR) das marés regionais de uma série temporal e muitas vezes são usados para referência de cartas náuticas (Parker, 2003; Moore *et al.*, 2006).

Mensurações de precisão na superfície da Terra precisam estar associadas ao referencial altimétrico. Esta necessidade fica evidenciada, quando se observa as variações nos comprimentos de um mesmo arco em círculos concêntricos. Portanto, para comparar medidas efetuadas em lugares da Terra com diferentes altitudes, é necessário reduzir essas grandezas ao mesmo nível de altitude, ou seja, reduzi-las ao mesmo arco de raio R_0, com origem no centro da Terra. Silva, Segantine e Erwes (2002) utilizaram um fator de multiplicação para equiparar medidas efetuadas em diferentes altitudes (Equação 2).

$$\mathrm{Re}\, d = -\left(\frac{H_P}{R_0 + H_P} \right) \qquad (2)$$

$$onde: s_p \rightarrow \ distância \ \ esférica \ \ na \ \ altitude \ \ H_p$$
$$R_0 \rightarrow Raio \ \ médio \ \ da \ \ Terra$$

De acordo com o teorema de Euler, o raio médio de curvatura R_0 é igual à média geométrica dos raios principais. Equação (3).

$$R_0 \ = \ \sqrt{M \bullet N} \qquad (3)$$

Onde N (Equação 4) é o raio da seção 1° vertical, gerada pela interseção de um plano normal ao elipsóide, cujo raio de curvatura é máximo, e M (Equação 5) é o raio da seção meridiana, gerada pela interseção de um plano normal ao elipsóide, cujo raio de curvatura é mínimo. Equações 4 e 5.

$$N = \frac{a}{\left(1 - e^2 \bullet sen^2\phi\right)^{1/2}} \qquad (4)$$

$$M = \frac{a \bullet \left(1 - e^2\right)}{\left(1 - e^2 \bullet sen^2\phi\right)^{3/2}} \qquad (5)$$

Onde: a → semi-eixo maior do elipsóide

e → excentricidade do elipsóide

ϕ → latitude do lugar

1.5 MÉTODOS

1.5.1 Locais de estudo

Os testes de aplicação da metodologia proposta nesta tese foram realizados nas praias de Sauaçui, Barreiras de Japaratinga e Pontal do Boqueirão, situadas nos municípios de Paripueira e Japaratinga, no estado de Alagoas, cujos mapas de localização podem ser observados nos capítulos 2, 3 e 4.

De acordo com Muehe *et al.* (1996), a característica comum das praias situadas na costa Nordeste do Brasil, entre as cidades de Natal, no estado do Rio Grande do Norte e Maceió, no estado de Alagoas, é a formação quase contínua de recifes de arenito, que além de constituírem um rico ecossistema, também constituem uma barreira natural que ajuda a dissipar a energia das ondas, antes de atingirem a praia.

Segundo Mascarenhas, Beltrão e Junior, (2005), a formação geológica da costa Nordeste brasileira, aconteceu nos períodos Cenozóico e Mesozóico. No Cenozóico formaram-se os depósitos de areia e dunas móveis do litoral, os depósitos flúvio lagunares (lamas arenosas e carbonosas) e os grupos barreiras (arenitos e conglomerados com intercalação de siltito e argilito) e, no Mesozóico ocorreu à formação Muribeca (conglomerados de leque aluvial).

Informações mais detalhadas sobre localização, clima, vegetação, e formação geológica dessas praias podem ser vistas nos artigos apresentados nos capítulos 2, 3 e 4.

1.5.2 Metodologia aplicada

O indicador de linha de costa usado nesta tese corresponde a uma curva de nível de altura equivalente a mais elevada HWL, registrada nas tábuas de marés previstas, publicadas pela DHN (Diretoria de Hidrografia Nacional), da Marinha do Brasil, referentes aos últimos vinte anos, acrescida do *run-up* das ondas. No estudo de caso realizado na praia de Sauaçui, os dados de maré referem-se ao porto da cidade de Maceió, Alagoas e nos estudos de caso das praias de Japaratinga, os dados de maré referem-se ao porto de Suape, no Estado de Pernambuco. Esses portos foram selecionados por estarem mais próximos das respectivas áreas de estudo.

As marcas físicas de um indicador definido dessa forma, necessariamente, não estarão presentes na praia, pois a HWL de máxima elevação pode ter ocorrido em um passado não muito próximo. Por isso, o uso da metodologia que aqui se propõe requer uma técnica apropriada para correlacionar os referenciais verticais das marés (NR) e do GPS (elipsóide). Uma vez estabelecida essa correlação poder-se-á reduzir as alturas dos perfis de praia gerados pelo GPS para o referencial de nível das marés e reproduzir modelos de elevação digital das faces de praia que sirvam para simular o movimento do mar sobre o continente. Como ocorre em quaisquer outros estudos que envolvam posicionamentos geográficos, é necessário especificar o elipsóide usado como referência, uma vez que as coordenadas de um mesmo local da Terra variam com o modelo elipsoidal adotado. O detalhamento da metodologia usada para localizar e monitorar as linhas de costa será mostrado no capítulo 2.

1.5.3 Equipamentos

Tanto nas etapas de georreferenciamento dos marcos de apoio como nos levantamentos dos perfis de praia foram utilizados receiveres geodésicos de dupla freqüência, com precisão nominal horizontal de 5mm ± 1ppm e vertical entre 2 e 3 cm, da marca Rascal**.** Estes permitem determinar o tempo e reconstituir os sinais das portadoras L1 e L2 e o processamento dos códigos armazenados pelo receiver dos sinais do GPS foram efetuados nos programas de processamento Grafinav e Grafinet. Os marcos de apoio implantados nas áreas de estudo foram edificados em concreto armado e equipados com um dispositivo de centragem forçada para melhorar a estabilidade da antena do receiver. Esse dispositivo consiste em um conjunto formado por uma chapa de aço inox, com um parafuso para fixação da antena do GPS fixado na extremidade superior do pilar de concreto, em conformidade com os padrões dos marcos da rede do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro). Figura 3.

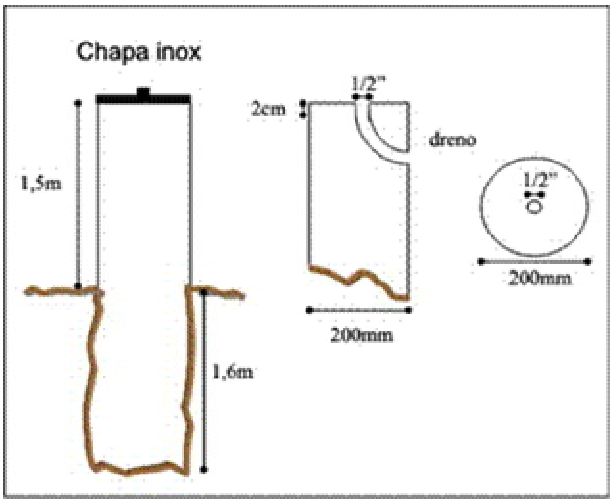

Figura 3. Detalhe mostrando o dispositivo de centragem forçada afixado na extremidade do pilar de concreto.

Para facilitar o deslocamento da antena receptora foi desenvolvido o protótipo de um veículo não motorizado, com estrutura similar a de um carro de mão, sobre a qual foi adaptado um sistema com apoio tri articulado para fixação do bastão da antena do GPS (maiores detalhes no capítulo 2). Esse sistema faculta ao bastão um movimento pendular, que o mantêm na direção vertical durante o deslocamento do veículo e foi projetado de modo que a extremidade inferior desse bastão aponte aproximadamente para o eixo do veículo, durante o seu deslocamento. Dessa forma, o bastão permanece na vertical e a antena permanece eqüidistante ao solo, ainda que o operador seja substituído por outro de altura não muito diferente.

O levantamento dos perfis de controle deveria ser efetuado, preferencialmente, através de nivelamento trigonométrico, devido à melhor precisão. Entretanto, em virtude da disponibilidade do equipamento, efetuou-se nivelamento e contra nivelamento geométrico, com um nível automático da marca Pentax, modelo AFL 280 cujas especificações indicam erro médio de ± 1,5 mm por km em nivelamento duplo.

Capítulo 2

Methodology for location of shorelines using positioning three-dimensional for GPS: a case study at Sauaçui beach, Northeast Brazil

Rocha, C. P.; Araújo, T. C. M.; Mendonça, J. B., 2008. *Methodology for location of shorelines using the 3D-GPS positioning: a case study at Sauaçui beach, Northeast Brazil. Journal of Coastal Research,* 25(0), 000-000. ISSN 0749-0208. DOI 10.2112/08-1108.1 (disponível apenas após impressão em julho).

ABSTRACT

Many research studies have tried to improve the techniques for effective control of changes in coastal spaces caused by natural and/or human-induced phenomena. Such alterations modify the capacity for natural regeneration of beaches, and due to the growing population in these areas coastal management must pay close attention to the subject. The method used in this study of case at Sauaçui Beach establishes a Terrestrial Digital Model (TDM) using topographic software fed by a geo-referenced data bank generated by three-dimensional GPS whose vertical coordinates are referred to tidal *datum*. The GPS technology can be used the accommodation dynamic of the Earth's crust of tectonic displacements. This method is able to identify the level curve equivalent to the maximum elevation of the wave *run-up* line, as well as the position of the water-line, during any stage of tidal elevation through curves of higher or lower levels of elevation, depending on the specific need of the study. Besides determiner a base line for future observations in the Sauaçui Beach, that study allows it is to evaluate the occurrence of alterations in the volume of sediments at the Beach through the difference among the generated land surfaces during different periods of time, as well as the risk of substantial variations in the shoreline position caused by eventual sea level changes.

ADDITIONAL INDEX WORD: Identification of shorelines, HWL; *Datum;* Vertical data; *Run-up*; Ellipsoid, Geoid; Brazil.

INTRODUCTION

The shoreline is one of the most dynamic geomorphologic features on the planet. Its determination and monitoring represents valuable assets to the conservation of the coastal environment which is necessary to the free movement of the tides. Shoreline erosion usually occurs as a result of a combination of natural factors, such as storms, marine currents and beach geomorphology, but also through alterations induced by human activities, such as costal explosions, deforestation and engineering activities. Due to the dynamics of shoreline accommodation and its multiplicity of indicators, the comparison of results obtained in this area of knowledge usually is not clear. MOORE *et al.* (2006), MORTON and SPEED (1998), PAJAK and LEATHERMAN (2002), PARKER (2003), RUGGIERO *et al*. (2001), and ZHANG *et al.* (2002), cited or used various indicators of shorelines, such as beach crest, wave *run-up* lines, Mean High Water (MHW) and High Water-line (HWL). Some indicators of water-lines have specific applications,

as in the case of MHW and BHW (Bass High Water), which in some countries are used a base for construction of nautical letters, while in others these are seasonal and/or discontinuous according to the geomorphologic characteristics of the beaches, such as *run-up* line and beach crests.

When it comes to coastal management, it is necessary to limit the shore zone in need of protection to guarantee the survival of some marine species and also to avoid any patrimonial damage. To assure the space needed to the free movement of the tides, it is necessary to take into account the maximum level reached by the sea in a certain period of time, as well as the historical analysis of the shoreline tendencies in the study area.

Since the 1970's it has been argued that coastal management need of a standard technical manual for coastal surveys because due to discrepancies in the map results produced by different sources (LEATHERMAN, 2003). In the mean time, many researchers have argued about the efficiency of techniques locating and monitoring shorelines. Thus, the objective of this study was to determine the shoreline with a precision compatible with the needs of coastal management using an unbiased data bank generated built through GPS and also employing a unequivocal indicator for geographical positioning, based on the highest HWL of the last 20 years adding the wave *run-up*.

BASIC THEORY

The shoreline is the limit between the continent and the adjacent portion of the sea. It is located at the wave's maximum range, where effective marine influence ends, and whose dynamics of transformation depend on factors not always predictable, such as waves, marine currents and the geomorphology of the beach (ROSS, 2007; SUGGUIO *et al.*, 1985).

Wave action depends on the morphology of the beach on which the waves that crash progressively advance (HOEFEL, 1998). The effect of waves is one of the most important contributing factors affecting shoreline dynamics due to the continuous transport of sediments and the increase in wave height in relation to calm water (denominated as *run-up*), whose details and parameters were shown in the figure 2, chapter I. According to MOORE *et al.* (2006) and RUGGIERO *et al.* (2001), the wave's *run-up* is the measure of its elevation after crashing against the beach front or an obstacle.

The shoreline is associated with sea level, and consequently, it is susceptible to the effects of the Earth's spherical shape, causing errors in the topographic level that must be corrected

(ESPARTEL, 1982). Besides that fact, the Earth's crust has an accommodation dynamic differentiated in areas of tectonic displacements. According to MARTIM, *et al.* (1985), this can only be measured using an external reference of observation, such as the technology GNSS. This technology has been used to monitor the absolute sea level.

The NAVSTAR/GPS processes the broad band signs L (code P, precise and C/A, clear acquisition), using techniques of geodesic positioning VLBI (Very Large Baseline Interferometry) in order to establish high geographic precision. The GPS base of reference is the World Geodesic System (WGS), which links the Geodesic place to its respective ellipsoidal data (SEGANTINE, 2005). This system is able locate one point in the Earth's surface through techniques of relative or absolute positioning, referring its coordinates to the Cartesian System, which can also be expressed in geographic format (ϕ, λ, h), or through the rectangular plan system Universal Transverse of Mercator (N, E, h), the former requiring an indication of the central meridian of the origin spindle (SCHOFIELD, 1993).

The techniques of relative positioning can generate more precise coordinates in less time then absolute positioning, and it can be applied by the following methods: static, static fast, *stop and go*, kinematics and RTK. Such a technique consists in reprocessing the GPS data after substituting the absolute coordinates of one point (reference) generated in the field with its precise coordinates, acquired from a reliable source (SEGANTINE, 2005). Considering that precision of the GPS positioning is limited to 1% of the length of the wave signal in the frequencies L1 and L2 (19 cm and 24 cm, respectively), the precision of the results will be in a scale of millimeters. However, only the geodesic receivers of two frequencies are capable of reconstructing the signal of both frequencies. Besides that, in order to generate a position of high precision it is necessary that the antenna of the GPS receivers is placed on a stable base (ROMÃO, 1982; SEGANTINE, 2005).

The distance of one point on the Earth's surface to the surface of the ellipsoid is denominated as geometric height (h), which is measured according to a line perpendicular to the ellipsoid, while the distance of this same point to the geoid is denominated as ortometric height (H). Both measures would be equivalent only if the surface of the ellipsoid and the geoid are coincident and parallel, which in reality generally never occurs (SCHOFIELD, 1993; TORGE, 2001; VANICEK and KRAKIWSKI, 1986).

The most important vertical reference is ellipsoid and the geoid. The tides is associated with the geoid. However, the geoid is a model based in an equal potential field of the Earth and has inconsistencies inherent from its own modeling due to the gravimetrical field (SCHOFIELD, 1993; TORGE, 2001; VANICEK AND KRAKIWSKI, 1986); the ellipsoidal *data* is based on mathematical modeling of the shape of the Earth, generated from the ellipses of rotation with different parameters. The vertical correlation among the ellipsoidal *data* and the geoid *datum* depend upon the knowledge of the geoid undulation in the study area. The associated tidal *data* represent the geoid *datum* that has an appropriate level of reduction to indicate the tide heights of one region and also to serve as reference on the elaboration of nautical letters in some countries (MOORE *et al.*, 2006; PARKER, 2003).

METHODS

The study site was Sauaçui Beach, situated at the north shore of Alagoas State (Figure 2.1), in the northeast region of Brazil, where a part of the coast is formed by elevated sedimentary soil due to the formation of a group of barriers and their beach cliffs. The geological formation of this shore is basically constituted of reddish-yellow eutrophic latosoil that formed during the Cenozoic and Mesozoic eras. The climate predominate is tropical equatorial zone, and at present the vegetation cover in this area is very impacted (IBGE, 2006).

According to Muehe (1996), as it occurs along most of the northeast brazilian shore, is an almost continuous formation of reefs that dissipate some of the wave's energy. The Sauaçui beach she has those characteristics.

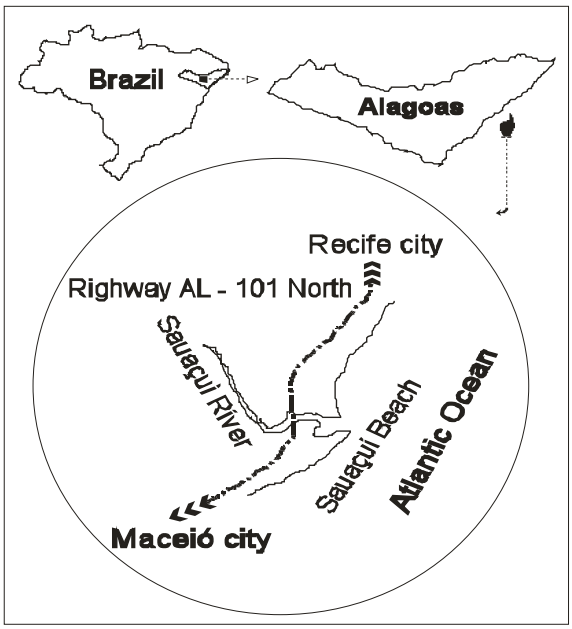

Figure 2.1. Outline Sauaçui Beach, located between Maceió and Paripueira cities, Alagoas Sate, Northeast Brazil. Source: adapted of IBGE.

Sauaçui Beach is a typical case of localized erosion in proximity to the estuary of the Sauaçui River which alters the dynamics of sediment transportation close in the area of its mouth, and also because of human-induced problems. The local population tries to contain the progress of erosion with isolated solutions, which result in transfer of sediment to adjacent regions, as already reported in literature (i.e. ESTEVES *et al.*, 2003).

In the present study techniques of relative positioning were applied that generate geographic coordinates with precision of millimeters. Because the technique of relative positioning supposedly refers to a geographic position from one point to another, a concrete marker made with transverse section of 0.30 m of diameter and total length of 3.00 m was implanted at the beach and equipped with a device of forced centering. The geo-reference operation from this mark was done by fix at the same time a pair of GPS receivers (one over the Sauaçui mark, and the other over the Brazilian Geodesic System mark named SAT 93206) for about 60 minutes. Both GPS receivers used in this study are geodesic types of double frequency with a nominal precision of 5 mm $\pm$ 1 ppm.

Soon after, complementary data were collected of the study area, such as position, water-line and beach profiles. During this stage, the antenna of one of the GPS receivers remained static over the Sauaçui mark, and the antenna of the other receiver (rover) was initially stationed in the water-line (at the static level of the sea), close to the center of the study area, and afterwards it

was transported in zigzag lines along the whole study area in order to generate continuous beach profiles in the interval of [water-line; *run-up* line] plus ~ 5 m. During this later stage, an experimental vehicle was used to transport the antenna of the rover receiver keeping it at the same distance to the soil and in the vertical position during dislocation. Figure 2.2.

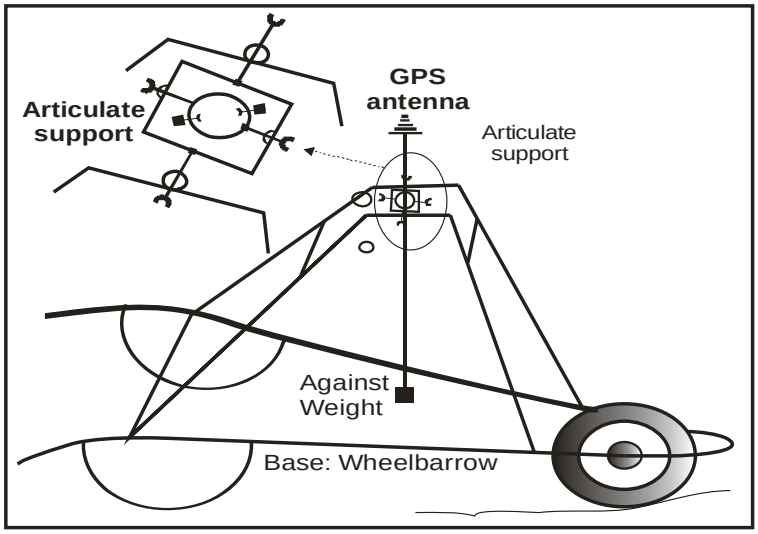

Figure 2.2. Outline vehicle antenna GPS transport. Stabilize distance in relation soil and the vertical position permanently.

The wave's *run-up* was measured by nailing a tube with 6 in of diameter to a depth sufficient to reach the static sea level. This operation verified the difference between the static level of the shaft and the level of the *run-up* line for the biggest waves. Figure 2.3.

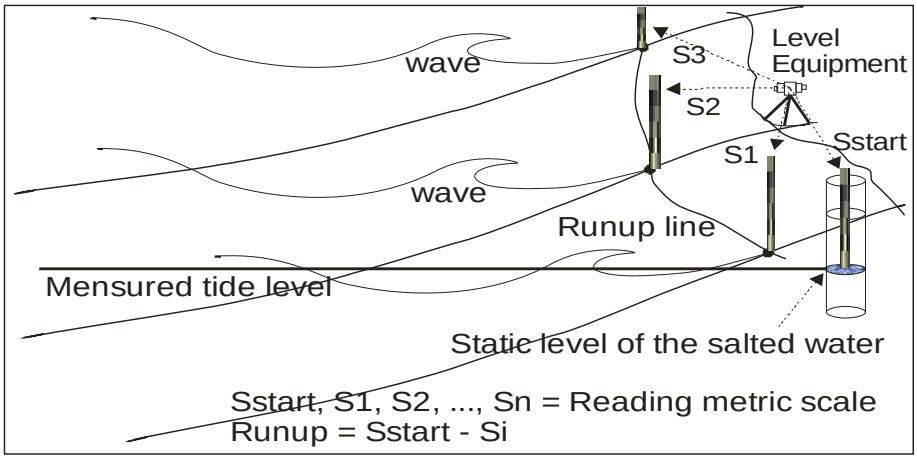

Figure 2.3. Outline of measured wave's *run-up* through geometric leveling based in ocean static level.

In order to correlate the vertical *data*, two operations were made. The first consisted in generating the GPS water-line height. The second was to generate the curve for the tide during the same day the GPS data were being collected, with the goal of collecting information at the same place, referred to the ellipsoidal and tidal vertical *data*. In order to generate the GPS water-line height at one point, the rover antenna was kept over the same spot for 5 minutes (rapid static survey). During this period of time data were being collected with the fixed antenna over the Sauaçui mark. The curve of the tide was generated on the basis of information about the tides published by the Hydrographic and Navigation Directory (DHN) of Brazilian Navy.

Data stored by the GPS receivers in each field survey were downloaded, processed and reprocessed to generate geodesic coordinates relative to the SGB mark, identified by SAT 93206 in the case of Sauaçui mark. The coordinates of the other points of the study area are relative to the mark Sauaçui. The maximum HWL in the last 20 years was researched in tide tables published by the DHN, which registered the maximum level of 2.7 m during the interval of 1988-2007.

RESULTS AND DISCUSSION

The definition of shorelines has evolved from the general idea of a place where the water mass encounters the continent (WEBSTER, 1988) to a more specific concept that correlates these encounters with a determined stage of a tide (GRAHAM *et al.*, 2003; MOORE *et al.*, 2006; PAJAK and LEATHERMAN, 2002; PARKER, 2003; RUGGIERO *et al.*, 2003).

Knowledge of coastal evolution is fundamental to the analysis of the ocean's forward advance and retreat. However, information about the history of positions occupied by the shoreline based on dated geological profiles must be analyzed from a global perspective, especially where globalize displacements be instable caused by of the accommodation of tectonic plates. According to MORNER (1996) tide gauge records do not provide simple and straight-forward measures of regional eustatic sea level. They are often dominated by the effects of local compaction and local loading subsidence. In order fully to investigate the situation, however, available tide gauge records, now extending from 1990 to 2002 and this reveals a total absence of any rising secular trend. On the other hand, when it comes to coastal management, the changing position of shorelines must to be updated regardless of the nature of the alteration, even if this information cannot be used to define zones in need of protection and/or relocated in real time.

The wave *run-up* at Sauaçui Beach was estimated by the arithmetical mean of the highest waves, using 2% of the waves observed as a sample and searching for representation of the beach interval closest to the shoreline, despite the changes in its declination and geomorphology along the different beach profiles. Also, it is likely that the wave *run-up* during the highest tides might be elevated, because during those times the waves usually passed above the reefs more freely, which normally dissipates some of its energy. On the contrary, the value of the *run-up* does not affect the application of this methodology because the height of the shoreline will result from the sum of the *run-up* with the maximum HWL of a determined period of time. According to NIELSON and HANSLOW (1991) estimation of the *run-up* through empirical methods needs to be calibrated as appropriate for every beach profile, also acknowledging other elements that are not the objective of the present study. Table 2.1 shows the measurements of the *run-up* sampled for the calculation.

Scale readings (mm)		diference (mm)	*Run-up* (m)	Observation
Static sea	*Run-up* line			Measures of biggest
1238	1015	223	0,22	greatness in a sample
1238	1007	231	0,23	Of a total of 300
1222	976	246	0,25	observations during
1222	959	263	0,26	April's, 21st and 22nd
1236	1019	217	0,22	
1236	1024	212	0,21	
			0,23	Average

Table 2.1. Sampling of the measures (2%) of the wave's *run-up* Sauaçui beach.

During the last 20 years, the maximum HWL foreseen for the study area was 2.7 m and the shoreline defined by this work will be represented by the level curve quota equal to this HWL, adding the estimated *run-up* for the study area. This means that shoreline will be represented by the level curve of a 2.93 m quota above the level of reference for the tides (tidal *datum*). In order to facilitate the visualization of these levels for the curves this value will be approximately 2.9 m.

The UTM coordinates of the SAT 93206 station (reference) published by the IBGE

(Brazilian Institute of Geography and Statistics) are N = 8,942,399.624 m; E = 194,915.790 m; h = 105.800 m, referred to the central meridian 33 of the ellipsoid SAD 69. These values were typed into the dialog box of the data processing program of the GPS in order to generate the coordinates of the Sauaçui mark (N = 8,949,850.731 m; E = 218,565.291 m; h = 22.069 m) whose precision is of the order of millimeters related to that station.

Continuing the works, the coordinates of the Sauaçui mark were used as reference. However, it was used rapid static positioning techniques in the case of the water-line, and *kinematics* positioning in the case of the profiles. At this stage, the heights of the antenna of the GPS receivers didn't need to be recorded, but were kept constant from the beginning to the end of the operation. That was only possible because all the GPS heights collected were afterwards reduced to the sea level. However, it is necessary that the equidistance of the antenna to the soil is maintained. That way, the systematic error of measurement of the antenna heights was eliminated. The verticality of the automated antenna caused by use of a transporting vehicle eliminated a second source of systematic error: the verticality error of the GPS antenna.

According to MOORE *et al.* (2006) two of the most important sources of errors to occur while measuring shorelines are the choice of indicators and the correlation of the vertical *data*. The geoid *datum* is not directly associated with sea level because it is a theoretical model generated from a base of points for the same gravimetrical potential (TORGE, 2001). In Brazil, this *datum* is represented by the Altimetric High Precision Network, which despite efforts of the IBGE still isn't robust enough to be used in places where the altitude must to be transferred.

The GPS generated heights are referred to the ellipsoid surface and, even though they are precise, they cannot be directly compared to the ortometric heights because both belong to different vertical reference systems. In Brazil, the geoid map represents a conversion between two systems of altitude. In order to fully take advantage of the GPS technology it is necessary to use a more precise geoid map, because the precision of the transformation is a function of the precision in which the geoid was determined (IBGE, 2006). According to Mapgeo 2004, the geoid maps of IBGE have errors on the order of 2 m.

Among the vertical *data*, the tidal *datum* can be used as reference of the tide height. This is the most commonly used reference to shorelines because it registers real variations in sea level, even though it is based an appropriate level of reduction. If the topography of the beach is associated to this *datum*, it will reflect the free movement of the tides in real time, indicating new

positions of the shorelines through any alterations of the sea level and/or alterations in beach form. In the project, all GPS heights initially referred to the ellipsoidal vertical *datum* were reduced to tidal vertical *datum*. The GPS point used to start collect of data on the water-line was also used to identify the correspondent height at the tide curve, which for Sauaçui Beach occurred at 10:42^{hs} a.m., on April's 19th, 2008. Figure 2.4.

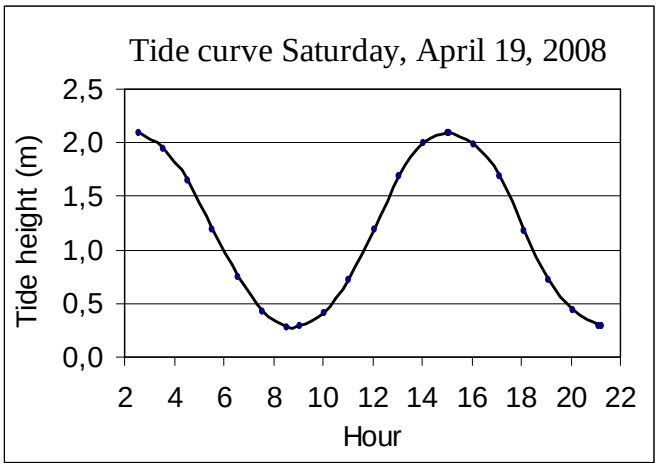

Figure 2.4. Tide curve April 19, 2008, where can see the height of the water line in the instant that colleted data GPS survey.

Because the water-line registered was at 19.277 m, at the same instant during which the line of water at the tidal curve reached 0.610 m, the correlation of the vertical *data* is obtained by the identity of these two values generating a constant reduction (k). Figure 2.5, Equation 2.1.

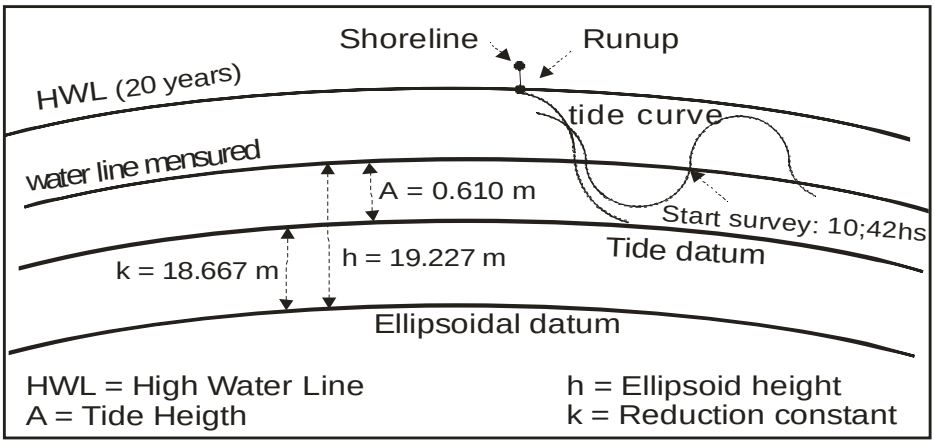

Figure 2.5. Outline of reduction of the GPS height for sea level.

$$k = h - A = 19.277\,m - 0.610\,m = 18.667\,m \qquad (2.1)$$

Where :

$k \rightarrow Cons\tan t \quad of \quad reduction \; of \; the \; GPS \; heights \; to \; the \; tide \; referential$

$h \rightarrow GPS \; heights \; of \; the \; water \; lines \; at \; the \quad t \quad ins\tan t$

$A \rightarrow Tide \; height \; at \; the \quad t \quad ins\tan \quad t$

In order to facilitate the operation of reduction of the GPS heights for the sea level, all the coordinated points GPS (N_i; E_i; h_i) were exported to a spreadsheet, from where the topographical software imported the data (N_i; E_i; h_i'), with h_i' being the GPS heights reduced to the sea level, to generate a digital model of the study area. Equation 2.2. Table 2.2.

$$h_i^{'} = h_i - k \qquad (2.2)$$

Where:

$h_i^{'} \rightarrow GPS \; heights \, reduced \, to \, the \, tide \, referential \; (tidal \; datum)$

$h_i \rightarrow GPS \; heights \, of \; the \; points \; collected \, at \, the \, study \, area$

$k \rightarrow Cons\tan t \quad of \quad reduction$

Coordinates (m)		Heights (m)		Cte Red	Sauaçui beach, april 2008
Easting	Northing	h_i'	h_i	k (m)	
218.602,541	8.949.821,600	0,610	19,277	18,667	start survey; 10:42:30 a. m.
218.602,549	8.949.821,607	0,605	19,272		CoordType: UTM
218.602,552	8.949.821,609	0,600	19,267		Zone 25: CM = 33°
218.605,576	8.949.820,833	0,699	19,366		
218.601,632	8.949.823,129	0,930	19,597		
218.596,049	8.949.827,318	1,292	19,959		sample of data
218.590,382	8.949.831,791	1,687	20,354		
218.584,664	8.949.836,222	2,084	20,751		

Table 2.2. Sampling of the coordinated points used to generate the digital model of the study area.

Considering that the point in which the constant of reduction (k) was determined is located in the middle of the water-line, the level of error of this line due to the Earth's round shape would

be equivalent to the level error of a 350 m line. However, this error is practically null because the GPS heights are referred to the ellipsoid whose curvature is very close to the Earth's.

Figure 2.6 shows the digital model for Sauaçui beach in which the level curve 2.9m height above the level of reference of the tides, represents the shoreline. With such curves, one can evaluate the dislocation of the water-line through the free movement of the tides. The distance between curves indicates the steepness of the face of the beach. The steepest are the curves which are closest to one another, demonstrating that the sea level elevations cause different horizontal dislocations of the water-line. It means that displacement of the water-line be more significant in areas of low steepness.

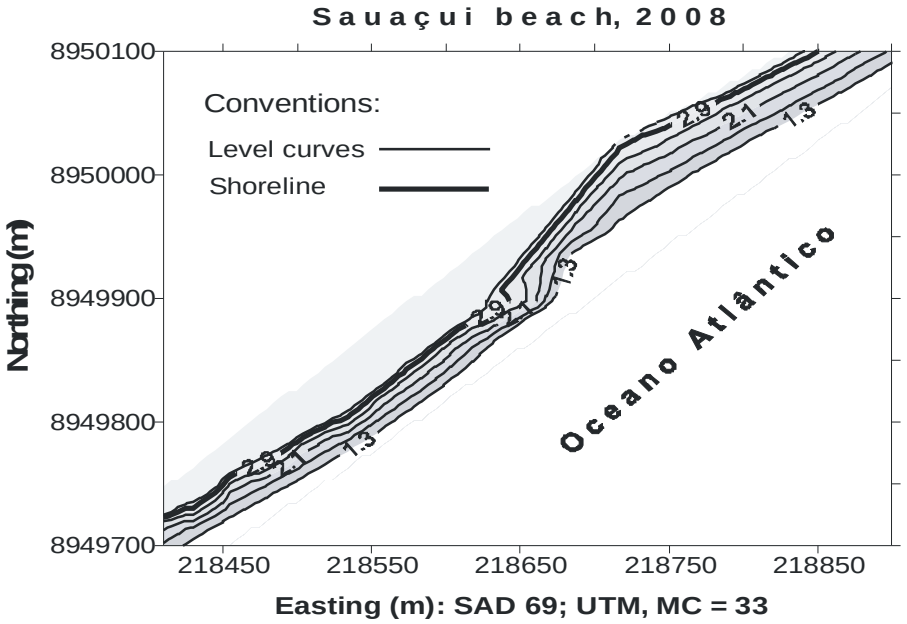

Figure 2.6. Digital model the researched beach, where stands out the level curve in the height 2.9m, above the referential of the level tide that represents of the shoreline study.

Nonetheless, when reducing the GPS heights to the sea level some positioning errors may occur either because of the differences among the curve rays of the vertical *data* or due to an eventual non parallelism between the ellipsoid curve and the water-line curve. Figure 2.7.

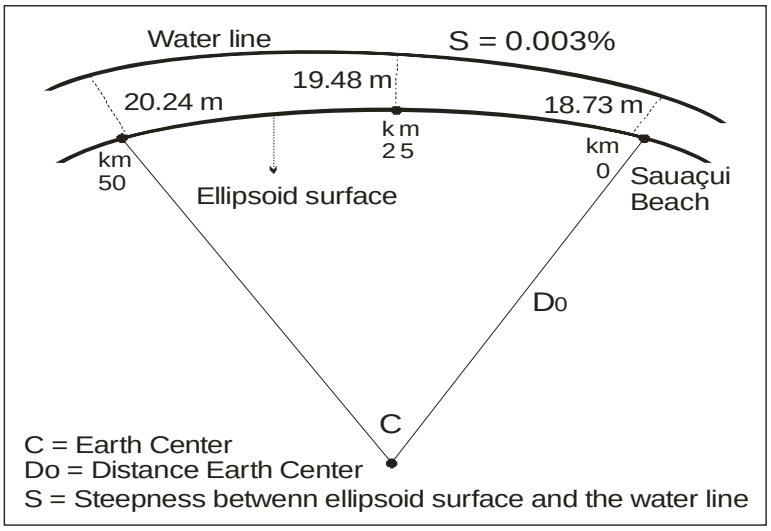

Figure 2.7. Outline of vertical data whit curvature different and eventual differences among of the ellipsoid curvature surface and in the water line curvature, that its can horizontal and vertical mistakes.

The error originated from the differences between the curvature rays of vertical *data* affect horizontal measures (Da Silva, Segantine e Erwes, 2002). The level reduction among the vertical *data*, which in this case is approximately 20 m, can cause errors in horizontal measurements until 350 m inferior to millimeters, as observed in the present study. The errors caused by the inclination between the vertical *data* they are relative to the vertical position of the quoted points. They were appraised based on the distance between the ellipsoid and the water-line surfaces in Sauaçui Beach and at two other places along the coast, which were about 25 km and 50 km apart. The distances observed in these three locations were 18.73 m, 19.48 m and 20.24 m, respectively, indicating a continuous inclination among the vertical *data* in the order of 0.003%. Considering the points that were the farthest from the height in which the water-line was collected, which was of 350 m, the maximum vertical error would be of 10.5 mm, and it can be inconsiderate for what the present work was proposed to.

CONCLUSIONS

The shoreline must be defined on the basis of an unequivocal indicator, and characterization of which is not affected by any natural or human-induced alterations of the beach. In addition, it has to be referred to the reduction level of the tides in order to better reflect its movements.

The technique for reducing the GPS heights to the sea level used in this study minimizes one of the biggest sources of errors in determining the shorelines, because the digital model for the study area based on the GPS data bank represents the real surface over which the tides freely flow with insignificant distortions. This format makes it possible to observe movement of the water-line in the context of changing sea level or landscape alteration. It also demonstrates clearly that the shoreline cannot be disassociated from three-dimensional space, this being the condition essential to correlate the vertical change in sea level with the horizontal shifting of the shoreline.

The vehicle prototype created to facilitate the transportation of the GPS antenna along the beach not only keeps the antenna stable in the vertical position and establishes its height in relation to the soil to eliminate systematic errors of verticality and measurement of the antenna height, but it also improves the level of comfort of the GPS operator.

The displacement of the antenna using a rover receiver must exceed the shoreline considerably in order to guarantee the gain of a group of coordinated points, which is necessary for the topographic software to create level curves from the water-line to the those above the shoreline, allows to identify new positions of the shoreline in the case of eventual sea-level rises.

The error originating from non-parallelism between the sea surface and the ellipsoid can be a limiting factor to the extension of the study area. However, propagation of such an error can be avoided by making measurements of the GPS heights of the shoreline through regular intervals. In any case, this caution is necessary to take with all techniques applied to determine of shorelines, because the elevations of the tides do not occur concomitantly in every point across the face of the Earth.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to the Department of Cartographic Engineering of the Federal University of Pernambuco for the kindness in lending the GPS receivers used in this study; to the engineers Sérgio Alves and Márcia Carneiro from the IBGE for sending the documents with registry of the mark SAT 93206 coordinates belonging to the Brazilian Geodesic System; to the CAPES Institute for financing this study through scholarships (1st author); and finally to the Federal University of Alagoas for the encouragement in the training of the 1st author.

LITERATURE CITED

Espartel, L. (1982) - *Curso de Topografia*. 8ª. edição, 655p., Editora Globo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Esteves, L.S., Silva, A.R.P., Arejano, T.B., Pivel, M.A.G. & Vrajane, M.P. (2003) - Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI35:548-556.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO de GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. (2006). Home-page http://mapas.ibge.gov.br/, accessed in November/2006.

GRAHAM, D., SAULT, M. & BAILEY, J. (2003) - National Ocean Service Shoreline – Past, Present, and Future. *Journal of Coastal Research*, SI38:14-32.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H. & COLLINS, J. (1998) - *Global Positioning System – Theory and Practice*. 4th Edition, Springer-Verlag, Inc. (ISBN: 3-211-82839).

LEATHERMAN, S. P. (2003) - Shoreline change mapping and management along the U.S. East cost. *Journal of Coastal Research*, SI38:5-13.

MARTIM, L.; FLEXOR, J. M.; BLITZKOW, D.; SUGUIO, K. (1985). Geoid Change indications Along Brazilian Coast during the Last 7000 Yars. In: Proceeding of the Fifith Internacional Coral Reef Congress, 1985, Tahiti. V. 3. p. 85-90.

MOORE, L.J., RUGGIERO, P. & LIST, J.H. (2006) - Comparing Mean High Water and High Water Line shorelines: Proxy *Datum* Offsets be Incorporate into shoreline Change Analyses. *Journal of Coastal Research*, 22(4):894-905. (doi: 10.2112/04-0401.1).

MORNER, N.-A. (1996). Rapid Changes in Coastal Sea Level. *Journal of Coastal Research*, V. 12, p. 797-800.

MORTON, R.A. & SPEED, F.M. (1998) - Evaluation of shoreline and legal boundaries controlled by water levels on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, 14(4):1373-1384.

MUEHE, D. (1996) - Geomorfologia costeira. *In:* Cunha S.B. da & Guerra A.J.T., *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Bertrand Brasil, pp. 191-238, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (ISBN: 8528605485).

NIELSON, P. and HANSLOW, D.J. (1991). Wave Runup Distributions on Natural Beaches. *Journal of Coastal Research*, 7, 1139-1152.

PAJAK, M.J. & LEATHERMAN, S.P. (2002) - The high water line as shoreline indicator. *Journal of Coastal Research*, 18(2):329-337.

PARKER, B.B. (2003) - The difficulties in measuring a consistently defined shoreline - the problem of vertical referencing. *Journal of Coastal Research*, SI38:44-56.

ROMÃO, V.M.C. (1982). Método Doppler de Posicionamento por Satélite NNSS. UFP, Curitiba/PR/Brazil. Másters thesis, 126p.

ROSS, J.L.S. (2007) - *Geomorfologia, Ambiente e Planejamento*. 86p., Ed. Contexto, São Paulo, SP, Brasil. , 1ª edição. (ISBN: 8585134828).

RUGGIERO, P., KAMINSKY, M. G. & GELFENBAUM, G. (2003) - Linking proxy-based and *Datum*-based shorelines on a high-energy coastline: implications for shoreline change analyses. *Journal of Coastal Research*, SI38:57-82.

RUGGIERO, P.; KOMAR, P. D.; MARRA, J. J.; MCDOUGAL, W. G., AND BEACH, R. A. (2001). Wave runup, extreme water level and the erosion of properties backing Beaches. *Journal of Coastal Research*, 17(2), 407-419.

Schofield, W. (1993) - *Engineering Surveying*. *Theory and examination problems for students*. 4th. edition, 554p., Butterworth – Heinemann, Oxford, Reino Unido. (ISBN: 0-7506-0511-1).

Segantine, P.C.L. (2005). Sistema Global de Posicionamento - GPS. 1 ed. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, 2005. V. 1000. 364p.

SILVA, I.; SEGANTINE, P. C. L.; ERWES, H. (2002). *Introdução a Geomática*. EESC/USP. São Carlos/SP/Brazil , 1nd edition, 99p.

SUGGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. (1985). Flutuações do Nível do Mar Durante o Quaternário Superior ao Longo do Litoral Brasileiro e suas Implicações na Sedimentação Costeira. Revista Brasileira de Geociências, 15, 272-286.

TORGE, W. (2001) - *Geodesy*. Walter de Gruyter, 3rd edition, 2nd. edition, 416p., Berlim, Alemanha. (ISBN: 311070728, 9783111017072).

VANICEK, P. & KRAKIWSKY, E.J. (1986) - *Geodesy, The Concepts*. Elsevier, Canada, 714p. (ISBN: 10-0444877754).

ZHANG, K., HUANG, W., DOUGLAS, B.C. & LEATHERMAN, S.P. (2002) - Shoreline positions variability and long-term trend analysis. *Shore & Beach*, 70(2):31-35.

Resumo

Muitos trabalhos buscam aperfeiçoar técnicas de controle efetivo das alterações dos espaços costeiros, que são afetados pelos fenômenos naturais e pelas ações antrópicas. Estas afetam a capacidade de regeneração natural das praias e, em virtude do crescimento populacional exige uma atenção cada vez maior dos responsáveis pelo gerenciamento costeiro. A metodologia usada nesse estudo estabelece o Modelo Digital de Terreno (MDT) através de um software topográfico alimentado por um banco de dados georreferenciado, gerado por posicionamento tridimensional GPS, cujas coordenadas verticais são referidas ao *datum* de maré. Entre tantas outras aplicações, a tecnologia GPS tem sido usada para medir as acomodações da crosta terrestre nas regiões onde ocorrem acomodações tectônicas (acomodações do geóide). Essa pesquisa aplica uma metodologia específica com tecnologia GPS para identificar a curva de nível equivalente à máxima elevação da linha de *run-up* das ondas, bem como a posição da linha d'água durante quaisquer estágios de elevação da maré, através das curvas de nível de maior ou menor elevação, de acordo com o objeto de interesse. No estudo de caso desenvolvido na praia de Sauaçui, foi determinada a posição geográfica da linha de costa correspondente à curva de nível 2,9 m acima do referencial de nível da maré local, que corresponde a mais elevada linha de espraio das ondas ocorrida nos últimos 20 anos. Essa técnica também serve para avaliar o risco de variações substanciais na posição da linha de costa mediante eventuais variações no nível do mar.

Capítulo 3

Aplicação de metodologia alternativa para localizar e monitorar linhas de costa usando técnicas de posicionamento pelo GNSS: Um estudo de caso na praia de Sauaçui, Nordeste do Brasil.

Application of alternative methodology to locate and to monitor shoreline using positioning techniques for GNSS: A case study in the Sauaçui beach, Northeast of Brazil.

Rocha, C. P.; Araújo, T. C. M.; Mendonça, J. B., 2009. *Revista de Gerenciamento Costeiro Integrado (RGCI), no prelo.*

RESUMO

A dinâmica de interface entre o mar e o continente, a inconsistência de alguns indicadores e a dificuldade em estabelecer a correlação entre os referenciais verticais são fatores que dificultam a comparação dos estudos sobre a localização geográfica das linhas de costa. Esse trabalho teve por objetivo localizar e monitorar a evolução da linha de costa em curto período, em uma área de intensa erosão no litoral norte do estado de Alagoas, costa Nordeste do Brasil. Para esse propósito, foram comparados os traçados de um trecho da linha de costa da praia de Sauaçui, nos anos 2006, 2007 e 2008, usando o mesmo padrão de procedimentos, ou seja, a mesma metodologia, o mesmo indicador e o mesmo referencial vertical. O indicador de linha de costa adotado foi à curva de nível 2,9m acima do referencial de nível das marés e foi estabelecido com base na máxima HWL (High Water Line), ocorrida nessa região nos últimos 20 anos (2,7m), acrescida do *run-up* (0,2m).

Os DEMs (*Digital Elevation Model*) da área de estudo foram gerados em um programa interpolador com base nos perfis de praia e o monitoramento consistiu em sobrepor os DEMs dos referidos anos para observar as variações no traçado da linha de costa em alguns seguimentos da área monitorada. No seguimento sul, observou-se uma retração de 7,0m no período 2006/2007, que regrediu para 2,0m no período 2007/2008. No seguimento centro-norte, observou-se uma regressão de 8,0m no período 2006/2007, que regrediu para 6,0m no período 2007/2008. O seguimento norte manteve-se estável no período observado.

Em linhas gerais, o comportamento da linha de costa em Sauaçui reflete variações sazonais, com predominância de recuo no setor centro-norte. Esse comportamento está sendo influenciado pela proximidade da desembocadura do rio Sauaçui e os conseqüentes desvios das correntes e das ondas causados pela presença dos obstáculos interpostos pelos proprietários das residências de veraneio, que impedem a evolução natural da linha de costa e alteram o grau de vulnerabilidade da praia nas áreas circunvizinhas.

O rendimento dos trabalhos de campo foi da ordem de 1,2km/h e poderá ser melhor se o trabalho tiver por objetivo específico reproduzir e monitorar a linha e costa, pois nesse caso os perfis de praia poderão ser encurtados.

Palavras-chave: GPS; HWL; datum; v*data*; *run-up*; elipsóide; geóide; linha de costa; Brasil.

ABSTRACT

The interface dynamics between the sea and the continent, the inconsistency of some indicators, and the difficulty related with establishing the co-relation between vertical referential are factors that hamper the comparison of the studies related to the shoreline geographic localization. This research aimed to locate and to monitor the shoreline displacement in a short period of time, in an erosion hot spot area in the North littoral of the Alagoas state of, in the northeast coast of Brazil. To accomplish this purpose, using the same procedure pattern, the 2006, 2007 and 2008 plot of a space of the shoreline of Sauaçui beach were compared, in other words, the same methodology, indicator and vertical referential were used for the comparison. The adopted shoreline indicator was the curve, of level 2.9m beyond the tidal levels, and it was established based on the maximum HWL (High Water Line), occurred in this region in the last 20 years (2.7m), added the run-up (0.2m).

At the study area a DEM (Digital Elevation Model) was generated in an interpolator program, based on the beaches' profiles produced using GPS three-dimensional placement technique, whose heights (ellipsoids) were reduced to the benchmark tidal level. The identification of the shoreline in the DEM of each monitoring year was made by height equivalence, selecting the correspondent line level with the model generated by the interpolator. As the DEM's surfaces are related with the sea level referential, they are used to simulate the dislocation of the water line upon the beach face. The monitoring consisted in overlapping the DEMs of the mentioned years and observing the variations on the shoreline plot in some monitored area segments. In the South segment, a 7m retreat was observed, during the period of 2006/2007, which retreat to 2m in the period of 2007/2008. In the Center-North segment, an 8m retreat was observed, during the period of 2006/2007, which retreat to 6m in the period of 2007/2008. The North segment has remained stable during the observed period.

In general lines, the behavior of the shoreline in Sauaçui reflects seasonal variations, with prevalence of retreat in the Center-North section. This behavior is being influenced by the proximity of the Sauaçui river mouth, and the subsequent currents deviation caused by the presence of the obstacles interposed by the summer vacation houses' owners in the central part of the monitored area. These obstacles hamper the shoreline natural evolution and change the beach vulnerability degree in the surrounding areas. The trends of seasonal displacement of this shoreline and the human activities developed there, suggest the need of monitoring this beach for

a longer time, in order to quantify the velocity and certificate the displacement tendency of its shoreline.

The field work profit was 1.2km/h and it could be better if the work has as specific objective reproducing the shoreline, because, in this case, the beaches' profiles can be shortened, reducing the operator's route, who carries the GPS antenna. However, it is necessary to ensure that each DEM contains the level curve of equivalent height to the shoreline, in other words, it is necessary that the height of the superior and inferior limits of the beaches' profiles are, respectively, lower and greater than the height established to the shoreline (2,9m beyond the referential of tide level, in this case), which approximated representation, in the field, correspond to the highest marks left by the waves' sprawl.

Additional index word: *GPS; HWL; Datum; Vertical data; run-up; Ellipsoid; Geoid; Shoreline; Brazil.*

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da posição geográfica da linha de costa é fundamental para o adequado gerenciamento dos espaços costeiros. Entretanto, a combinação de fenômenos naturais com atividades antrópicas, pode alterar a dinâmica da geomorfologia costeira. Entre os elementos naturais que concorrem para a transformação desse ambiente destacam-se as tempestades e as correntes marinhas, cujos efeitos dependem da geomorfologia costeira. De acordo com a sua natureza e objetividade, atividades antrópicas como as obras de engenharia costeira em geral e o extrativismo mineral ou vegetal podem conter ou catalisar a ação dos citados agentes naturais (Esteves *et al.*, 2003).

A localização e o monitoramento da linha de costa dessa pesquisa foram feitos com base em coordenadas geográficas tridimensionais da face de praia, determinadas com técnicas de posicionamento pelo GPS (*Global Positioning System*). O sistema GPS é um dos sistemas de posicionamento que utilizam à tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e pode gerar posicionamentos no modo dinâmico relativo, com precisão de poucos centímetros. Essa tecnologia já vem sendo aplicada em programas de gerenciamento costeiro em várias partes do mundo. Entretanto, as alturas geradas pelo GPS são elipsoidais e representam um problema para

o uso desse sistema em aplicações que envolvem altitudes, como é o caso das linhas de costa, que são relacionadas com o nível do mar.

Atualmente, técnicas de grande capacidade de rastreio, como o sistema ALS (Airbone Laser Scaning), vem sendo testadas como ferramentas de apoio ao gerenciamento costeiro. De acordo com Baptista *et al.* (2008), com o uso do sistema ALS é possível reproduzir grandes superfícies com precisão submétrica. Entretanto, sua aplicabilidade ainda é muito limitada pelo alto custo, principalmente no monitoramento de áreas com acentuada morfodinâmica, como é o caso da faixa costeira.

Em se tratando de linha de costa, independentemente do método ou da técnica usada para o seu monitoramento, um dos agravantes é a variedade de indicadores que comumente são usados para representá-la, tais como: crista de praia, linha de espraio das ondas, MHW (Mean High Water), HWL (High Water Line) e linha de contorno da vegetação de praia. Estes indicadores são listados em várias pesquisas, como por exemplo: Leatherman (2003); Moore *et al.* (2006); Morton and Speek (1998); Pajak and Leatherman (2002); Parker (2003); Rocha et al (no prelo, 2008); Zhang *et al.* (2002). Contudo, alguns desses indicadores, devido a sua inerente metamorfose, precisam estar referidos no tempo e no espaço, como é o caso da MHW e da HWL; outros são sazonais e/ou descontínuos, variando de acordo com a geomorfologia da praia, como é o caso das marcas deixadas pelo espraio das ondas, linha de contorno da vegetação, crista de praia, etc., que só podem ser aplicados em praias específicas, onde suas marcas permanecerem nítidas. Por isso, é importante observar que entre os indicadores de linha de costa citados anteriormente, a linha de espraio das ondas, ou seja, a HWL adicionada do *run-up* vem se firmando como o mais compatível, pois representa o limite efetivo de alcance da linha d'água. Provavelmente devido a isto, Graham *et al.*(2003); Moore *et al.*(2006); Pajak and Leatherman (2002); e, Rocha *et al.*(no prelo, 2009), optaram por este indicador.

O objetivo desse estudo foi testar a metodologia proposta em Rocha *et al.* (no prelo, 2008) para localizar a linha de costa na praia de Sauaçui com base na máxima HWL dos últimos vinte anos, relativa ao porto de Maceió, no Estado de Alagoas, acrescida do *run-up* e avaliar a evolução dessa linha em um intervalo dessa praia com acentuada dinâmica de transformação, no período 2006/2008.

2. METODOLOGIA

Localização do experimento.

Esse experimento foi realizado na praia de Sauaçui, situada no município de Paripueira, localizada no Estado de Alagoas, região Nordeste do Brasil. Figuras 3.1 e 3.2.

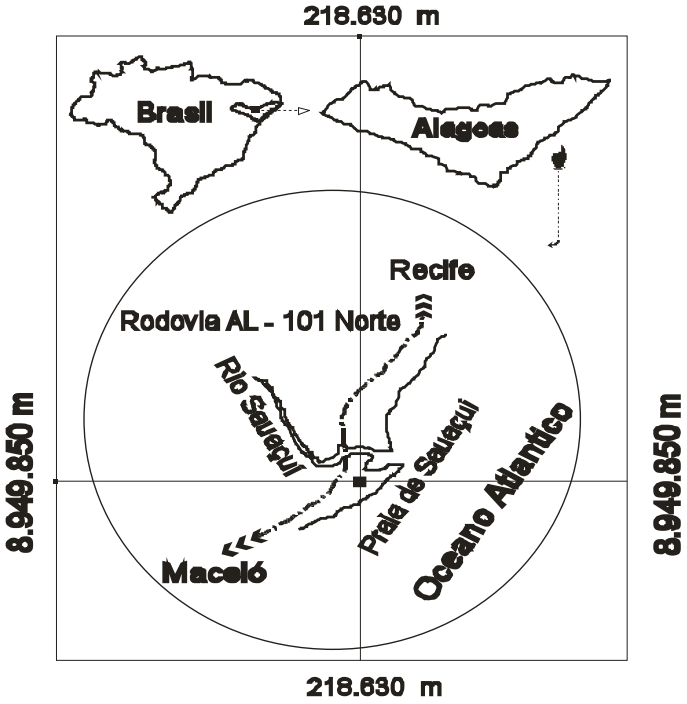

Figura 3.1. Área de estudo. Fonte: Rocha *et al.* (no prelo, 2008).
Figure 3.1. Study Area. Source: Rocha *et al.* (in press, 2008)

Figura 3.2. Foto da área de estudo.
Figure 3.2. Illustration of study area.

Uma parte considerável da região costeira local é constituída de terrenos sedimentares elevados, devido à formação do Grupo Barreiras e suas falésias litorâneas, em cuja composição geológica há predominância de latos-solos vermelho-amarelo eutróficos, formados durante os períodos Cenozóico e Mesozóico. Na região da área de estudo, como ocorre em grande parte do litoral nordeste brasileiro, há uma formação quase contínua de recifes que ajudam a dissipar a energia das ondas (Muehe, 1996).

A linha de costa da área monitorada é afetada pela desembocadura do Rio Sauaçui que fica a aproximadamente 0,6 km ao norte dessa área e pelas atividades antrópicas desenvolvidas pelos proprietários das residências de veraneio, em virtude dos problemas de erosão localizada que vinham ocorrendo na parte da praia, que se confronta com essas residências. Por conta disso, surgiram medidas isoladas para conter a linha de costa, numa tentativa de evitar grandes prejuízos materiais. Essas medidas constituíram-se na colocação de pedras sem aglomerante e na edificação de alguns muros de contenção, distribuídos aleatoriamente ao longo de aproximadamente 80 m,

sobre os quais as ondas arrebentam nas marés altas de sizígia. Há suspeitas de que essas improvisações possam estar contribuindo para pressionar o comportamento da linha de costa nas áreas adjacentes, como já foi citado na literatura referida a outras localidades, como por exemplo, Esteves *et al.* (2003).

Georreferenciamento da área de estudo.

A primeira etapa dos trabalhos de campo consistiu na implantação de um marco de concreto na região do experimento. Esse marco foi edificado segundo as especificações do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) para os marcos do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro), de modo a atender aos padrões técnicos necessários para georreferenciamentos de precisão. Em seguida, tomando por base as coordenadas do marco Sauaçui, fez-se a coleta dos dados no interior da área de estudo nos anos de 2006, 2007 e 2008, para fins de gerar os perfis dessa praia, como também associar as alturas desses perfis, geradas pelo GPS, ao referencial de nível das marés. Como essa associação é feita através da identidade do referencial de maré com o *datum* elipsoidal, faz-se necessário conhecer a altura de maré e a altura do GPS em um mesmo ponto. Por isso, ao menos uma vez, durante a coleta dos dados, a antena do receptor do GPS precisa ser posta sobre a linha d´água. O registro desse momento servirá para identificar qual a altura de maré correspondente àquela altura do GPS (elipsoidal). De acordo com Rocha *et al.* (no prelo, 2009), no dia 16 de Setembro do ano de 2006 essas informações indicaram que a altura elipsoidal da antena do GPS sobre a linha d´água, no instante em que a maré estava na cota 0,983 m seria 19,713 m. A identificação entre essas alturas constitui-se no tangenciamento entre os *data* de maré e elipsoidal, no ponto em que os dados foram coletados e cuja diferença, representa uma constante de redução que deve ser adicionada algebricamente a todas as alturas dos perfis de praia geradas pelo GPS, para reduzi-las ao referencial de nível das marés. Dessa forma, os DEMs

gerados com base nas coordenadas tridimensionais desses perfis representam à face da praia sobre a qual a linha d´água se desloca livremente.

Nos anos seguintes, esses dados foram coletados no dia 18 de Março de 2007 e no dia 19 de Abril de 2008, quando foram registradas as respectivas alturas de maré e elipsoidais. Tabela 3.1.

Year	GPS height	Tide height	C^{te} de red.	Ob.:
	h (m)	A (m)	k (m)	
2006	19,713	0,983	18,730	$16:35^{hs}$, September 16
2007	18,460	0,160	18,300	$09:00^{hs}$, March 18
2008	19,277	0,610	18,667	$10:42^{hs}$, April 19

Tabela 3.1. Constantes de redução das alturas GPS para o referencial de nível das marés.
Table 3.1. GPS heights reduction constants to the referential of tide's levels.

Ao processar os dados do GPS correspondentes aos pontos que compõem os perfis de praia obtêm-se, originalmente, pontos coordenados (E_i; N_i; h_i) dos respectivos anos em que os dados foram coletados, onde (E_i; N_i), são as coordenadas geográficas Leste e Norte, expressas no sistema plano retangular UTM (Universal Transverso de Mercator) e (h_i) são as alturas *GPS* referidas ao elipsóide SAD 69 e que nesse estudo foram reduzidas ao referencial de nível da maré, através da adição algébrica da constante de redução (ki), conforme consta da Tabela 1. Dessa operação resultam pontos coordenados (E_i; N_i; h'_i), onde (h'_i) são as alturas dos pontos dos perfis de praia, agora referidos ao nível de redução das marés (Tabela 2), na qual os pontos coordenados representam os perfis de praia do respectivo ano do monitoramento, cuja arquitetura de caminhamento contempla a face de praia, desde a linha d´água até ultrapassar a altura da suposta linha de espraio das ondas. Tabela 3.2. Figura 3.3.

Coordinates		Heights		C^{te} Red.	Project: Sauaçui 19.04.2008
Easting	Northing	(h'i)	(hi)	(ki)	CoordType: UTM - Zona 25
218.586,042	8.949.807,469	**0,983**	19,713	18,730	Start survey : NA = 0,983m
218.370,180	8.949.663,664	1,595	20,325		
218.360,052	8.949.680,118	2,252	20,982		2006 sample, database: 652 points
218.354,784	8.949.690,903	2,904	21,634		
218.357,043	8.949.693,388	3,080	21,810		
218.629,557	8.949.818,097	0,220	18,520	18,300	Start survey : NA = 0,160m
218.630,908	8.949.814,806	**0,160**	18,460		2007 sample, database: 642 points
218.628,018	8.949.813,787	0,138	18,438		
218.602,541	8.949.821,600	**0,610**	19,277	18,667	Start survey : NA = 0,610m
218.590,382	8.949.831,791	1,687	20,354		2008 sample, database: 667 points
218.584,664	8.949.836,222	2,084	20,751		

Tabela 3.2. Demonstrativo de alguns pontos coordenados dos anos 2006, 2007 e 2008, cujas alturas *GPS* (h_i) foram reduzidas para o referencial de nível das marés (h'_i).
Table 3.2. Demonstrative of some coordinated points in the years 2006, 2007 and 2008, whose GPS heights (h_i) were reduced to the referential of tide's levels (h'_i) .

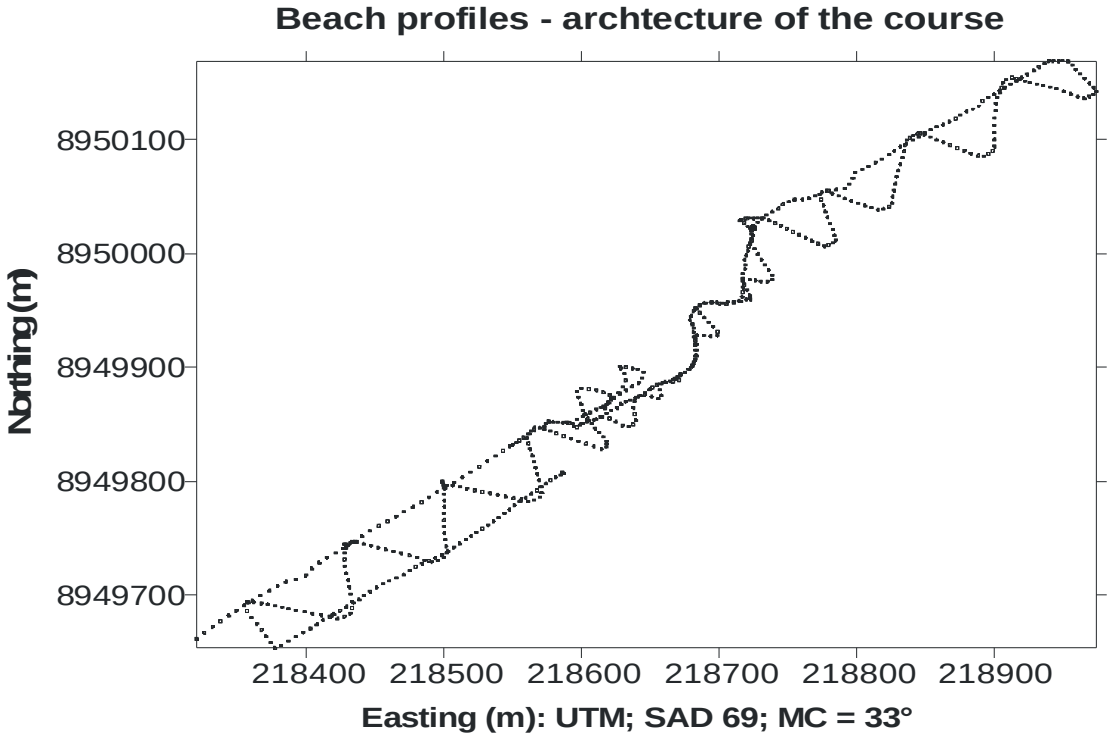

Figura 3.3. Amostragem da arquitetura da distribuição dos perfis de praia. Os DEMs serão gerados com base nos pontos coordenados desses perfis.
Figure 3.3. Sampling of the beaches' profiles distribution architecture. The DEMs will be generated based on the points coordinated in those profiles.

Veículo transportador da antenna do GPS

A metodologia aqui utilizada identifica a linha de costa entre as curvas de nível do DEM da área de estudo, o qual, por sua vez será gerado com base nos perfis de praia, estabelecidos por técnicas de posicionamento tridimensional pelo GPS. Para gerar esses perfis, uma das antenas do receptor GPS foi conduzida sobre essa área, coletando dados no modo dinâmico relativo, enquanto a segunda antena permanecia sobre o marco de concreto, edificado na praia de Sauaçui. Nessa oportunidade, fez-se uso de um veículo não motorizado, equipado como um sistema de apoio triarticulado que manteve o conjunto bastão-antena do GPS na direção da vertical durante o deslocamento do veículo, bem como a sua eqüidistância ao solo. Figura 3.4.

Figura 3.4. Foto do protótipo de um veículo apropriado para transporte da antena do GPS.
Figure 3.4. Picture of the prototype of an appropriate vehicle for transport of the GPS antenna.

Como esse veículo não é motorizado, o deslocamento da antena dar-se-á em baixa velocidade, possibilitando ajustar a taxa de gravação do GPS de modo a registrar um ou mais

pontos por metro linear de perfil de praia. Por outro lado, considerando que uma maior quantidade de perfis na área de estudo, poderia facilitar a interpolação das curvas de nível no DEM, o grau de liberdade do operador foi limitado, para que os perfis contemplem ao menos um ponto da linha de costa a cada 25m.

Medição do *run-up*

A energia das ondas na praia de Sauaçui é bastante amortecida pela barreira de recifes presente na ante praia. Mesmo assim, o *run-up* das ondas integra a definição do indicador de linha de costa dessa pesquisa, pois ele representa um importante adicional de altura da linha d´água nos locais com ondas de grande energia e que espraiam livremente sobre a face de praia. Rocha *et al.* (no prelo, 2009), mediu o *run-up* nessa praia, através da diferença de altura entre o lençol salgado da praia e alguns pontos da linha do espraio, encontrando valores em torno de 23 cm. Apesar da evidente influência dos fatores meteorológicos e astronômicos e da geomorfologia da praia sobre a altura do *run-up*, conforme Ross (2007), esse valor foi fixado, neste estudo, por tratar-se de um monitoramento cujos padrões de procedimentos devem ser mantidos.

Alturas de marés e correlação dos referenciais verticais

A aplicação dessa metodologia está totalmente vinculada com as alturas de marés, uma vez que o indicador de linha de costa aqui adotado corresponde a mais elevada HWL dos últimos vinte anos, acrescida do *run-up*. Para isso, além de examinar a série histórica de vinte anos do comportamento das marés, foram reproduzidas as curvas de maré dos dias em que os dados de campo foram coletados. Esse procedimento é necessário porque a identidade entre os *data* verticais, tidal e elipsoidal, requer o conhecimento concomitante das alturas de um mesmo ponto nesses dois referenciais.

Na medida do possível os levantamentos dos perfis de praia foram efetuados durante a maré baixa. Esse procedimento objetivou garantir a obtenção de perfis mais abrangentes da face de praia e também minimizar os erros referentes às medidas da altura da maré, em virtude do estofo de vazante, durante o qual o nível do mar, permanece estável por algum tempo, antes de reverter o fluxo. Coletar dados do GPS na linha d´água, requer a escolha de um local calmo (sem ondas) ou o uso de um artifício apropriado para tal fim, como por exemplo, o nível de um poço escavado à beira mar, para possibilitar o conhecimento da altura de um mesmo ponto nos referenciais tidal e elipsoidal. A diferença entre essas alturas, corresponde a uma constante de identificação entre esses referenciais. Assim, para reduzir quaisquer alturas da face de praia, geradas pelo GPS, para o referencial de nível das marés, basta somar algebricamente, essa constante às alturas GPS. Os valores dessa constante, relativos aos respectivos registros podem ser examinados na tabela 1. Figura 3.5.

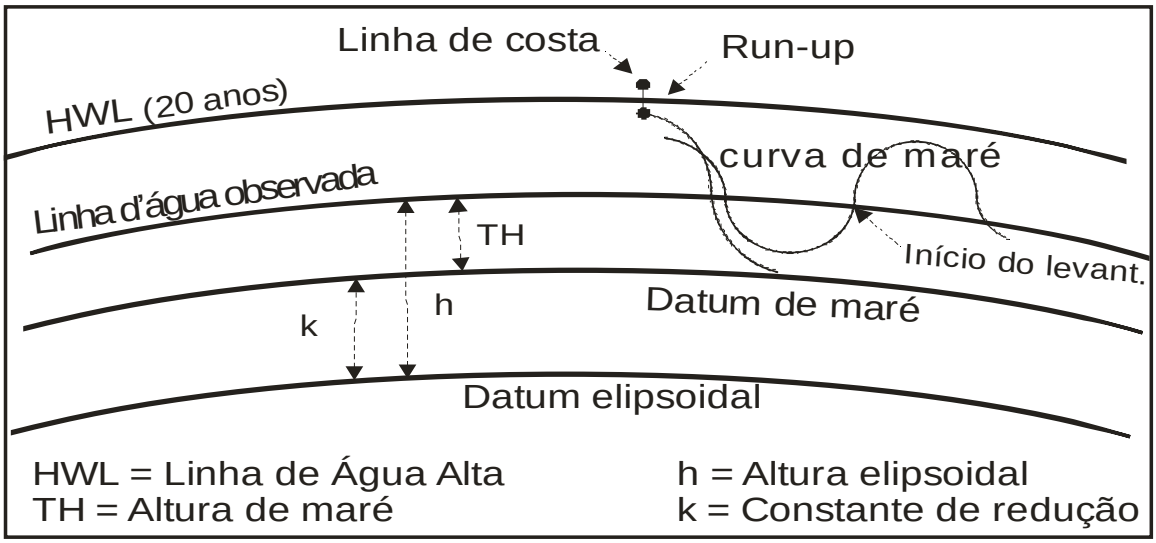

Figura 3.5. Esquema de redução das alturas GPS ao referencial de nível das marés.
Figure 3.5. GPS height Reduction Scheme to the referential of tides' level.

Método interpolador usado para gerar o DEM

Nesse trabalho, o passo a passo do monitoramento consistiu em reproduzir o DEM da área de estudo com base nos perfis de praia, identificar a linha de costa entre as curvas de nível do DEM por equivalência de altura e observar eventuais alterações de traçado da linha de costa, superpondo os DEMs correspondentes à face de praia dos anos 2006, 2007 e 2008. Os pontos coordenados dos perfis de praia formam a base para geração dos DEMs, por interpolação. Portanto, é importante observar a arquitetura de distribuição dos perfis, a densidade dos pontos que os constituem e a densidade dos perfis na área de estudo, pois disso depende o desempenho do método interpolador (Baptista *et al.*, 2007, no prelo). Os testes aplicados para comparar a eficácia de alguns métodos interpoladores levando em conta a suavidade das linhas interpoladas e a comparação entre as alturas geradas pelo GPS e as respectivas alturas nos DEMs produzidos pelos interpoladores, em alguns pontos de controle, indicaram que no caso Sauaçui o método Radial Basis Function (RBFs) produziu melhores resultados. Os procedimentos de interpolação com uso da função de base radial, utilizam o algoritmo spline com tensão regularizada, para calcular o valor de uma dada grandeza no espaço entre as amostras ou observações a partir de uma combinação linear dos valores observados, permitindo minimizar os desvios entre valores observados e calculados, ao tempo em que promove a suavização da superfície gerada (Leite, *et al.* 2007). Esse método proporcionou a obtenção de modelos cujos pontos de controle indicaram maior aproximação entre os valores pontuais das ordenadas originais geradas pelo GPS e as ordenadas geradas no DEM, além de produzir curvas com melhor suavização.

Os DEMs da praia de Sauaçui referentes aos anos 2006, 2007 e 2008, foram gerados pelo programa Surfer 7.0, usando como dados de entrada os pontos coordenados (E_i; N_i; h'_i). como as alturas h'_i são relativas ao referencial de nível das marés, os modelos gerados representam às respectivas superfícies sobre as quais a linha d´água se desloca durante a livre movimentação da

maré, na qual a linha de costa corresponde à curva de nível de altura equivalente ao indicador adotado. Figura 3.6.

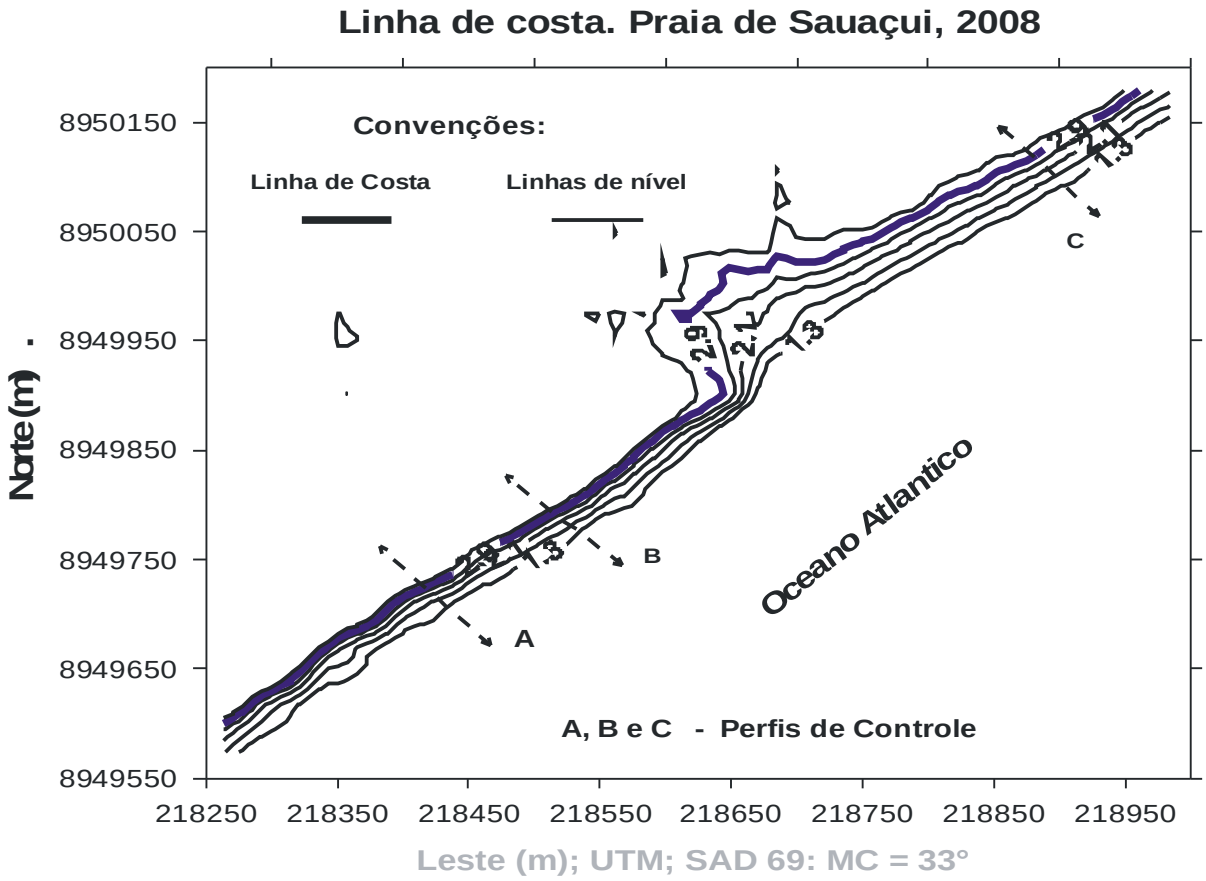

Figura 3.6. O *DEM* Sauaçui 2008 ilustra o produto final gerado pelo método interpolador em cada época do monitoramento, no qual a linha de costa, representada pela curva de nível na cota 2,9 m, encontra-se em destaque. Nessa figura também estão indicadas às posições dos perfis de controle AA, BB e CC, gerados através de nivelamento geométrico e reproduzidos com base no DEM.
Figure 3.6. The DEM Sauaçui 2008 shows the final product generated by the interpolator method in each monitoring season, in which the shoreline, represented by the level curve in the quota 2,9 m, is stressed. In this figure the profiles' positions of control AA, BB and CC also are indicated, generated through the geometric capping, and reproduced based on the DEM.

Os DEMs dos anos 2006 e 2007 foram gerados de forma similar e serão usados adiante para análise do comportamento no período monitorado.

Perfis de controle

O controle da precisão com que as linhas de costa foram localizadas nessa pesquisa foi efetuado pela comparação entre as medidas dos perfis AA, BB e CC, indicados na figura 6. Em cada uma dessas seções, foram elaborados dois perfis, sendo que um deles foi reproduzido através de nivelamento geométrico topográfico convencional e o outro foi reconstituído com base nas curvas de nível do modelo gerado pelo método interpolador. O controle consistiu em comparar a posição de três pontos da linha de costa, identificados nos perfis de uma mesma seção, caso a caso, por equivalência de altura.

Os perfis gerados por nivelamento geométrico, assim como os seus correspondentes, plotados a partir do DEM, estão vinculados ao referencial de nível das marés, ou seja, a cota de partida (linha d'água) provém da curva de maré, caso a caso. Isto significa que cada ponto de partida não tem exatamente a mesma cota, em virtude da dinâmica da maré. Entretanto, para padronizar os procedimentos, suas origens foram transpostas para o local da linha d'água na altura 1,3 m. Portanto, a partir desse ponto até o ponto de controle na altura 2,9 m (linha de costa), os perfis gerados por nivelamento geométrico e os perfis plotados a partir do DEM , caso a caso, deveriam ter a mesma extensão. Figura 3.7.

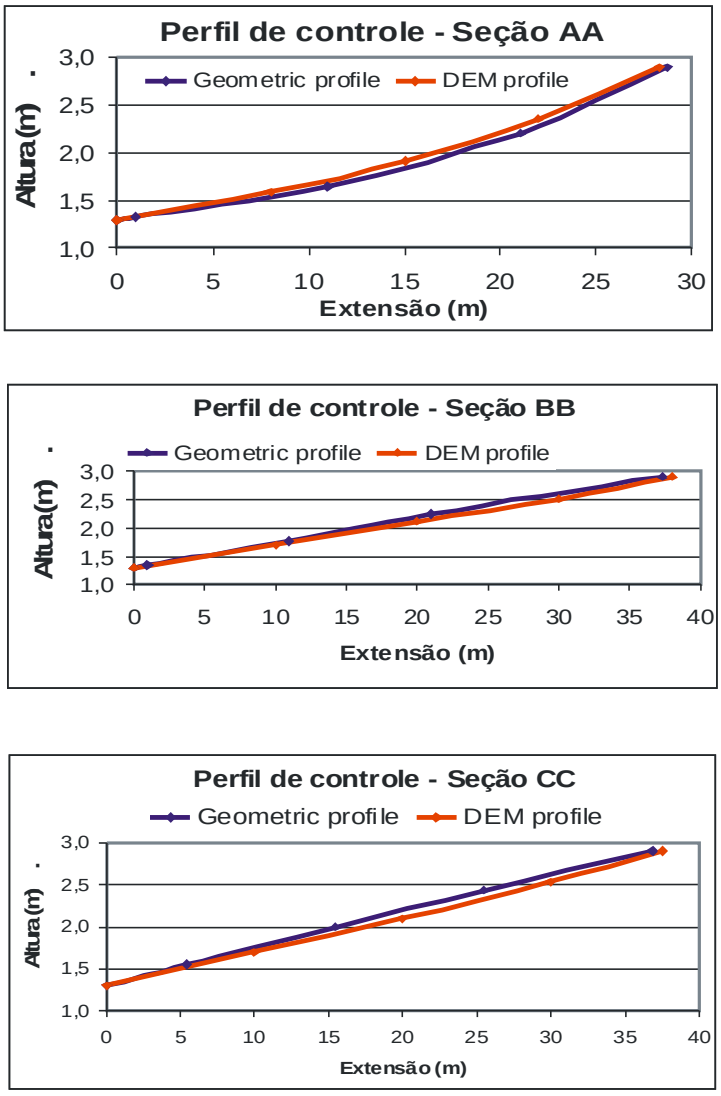

Figura 3.7. Os Perfis AA, BB e CC, ilustram como foram efetivados os controles da precisão com que as linhas de costa estão localizadas.
Figure 3.7. The profiles AA illustrate how the precision controls in which the shorelines are localized were made.

A comparação entre os perfis AA indicou uma diferença no comprimento entre o perfil gerado por nivelamento geométrico e o perfil reproduzido a partir do DEM de 0,4 m, e, nos perfis BB e CC, essas diferenças foram da ordem de 0,5 m e 0,6 m, respectivamente.

Erros:

Erros instrumentais

Os posicionamentos pelo *GPS* no modo diferencial relativo dinâmico contêm erros que dependem do comprimento da linha de base. Segundo Hofmann-Wellenhof *et al*. (1998), a precisão horizontal pode ser da ordem de 0,01 m e a vertical 0,02 m, acrescidas do fator 2ppm (variável, conforme o modelo do equipamento). No caso Sauaçui, foram utilizados receptores GPS de dupla freqüência, que atendem a esse nível de precisão. Como os posicionamentos dos pontos no interior da área de estudo foram definidos com base no marco Sauaçui, o fator de acréscimo será insignificante, pois a linha de base é da ordem de 0,2 km, para os pontos mais afastados do marco. No caso Sauaçui, a qualidade dos posicionamentos cinemáticos pode ser avaliada pela comparação das coordenadas do ponto da linha d´água, gerado pelo método estático rápido no início da coleta de dados e pelo método cinemático, durante o deslocamento. Para isso, é necessário passar pelo mesmo local em que se deu início à coleta dos dados GPS. Essa avaliação leva em conta que as coordenadas geradas pelo método estático rápido relativo, podem ter precisão melhor que um centímetro (Segantine, 2005). Entretanto, ao gerar “o mesmo ponto” no método cinemático, a taxa de gravação, apesar de alta, não é contínua. Portanto, os pontos examinados, a rigor, não serão exatamente os mesmos, embora muito próximos. Daí essa verificação ser mais útil e mais importante para avaliar a precisão com que a altura do local observado foi medida, uma vez que na linha d´água, esse valor é praticamente o mesmo, em um curto intervalo de tempo e os erros de natureza vertical são mais importante que os erros de natureza horizontal, uma vez que os primeiros irão potencializar os segundos no processo de interpolação das curvas de nível.

Para avaliar a precisão da localização geográfica da linha de costa, foram nivelados e contra nivelados três perfis de praia, com nível ótico de precisão 2 mm + 1ppm. Esses perfis iniciam na

linha d´água e seguem na direção perpendicular à linha de costa, até ultrapassar a linha do espraio, de modo a prevenir que a linha de costa seja interceptada. Como os perfis têm cerca de 60 m de comprimento, o erro final de nivelamento será da ordem de 1,8 mm, desde que, como neste caso, sejam corrigidos os desvios de nivelamento causados pela curvatura de Terra, através do uso da equação 3.1 (Espartel, 1982). Contudo, a propagação desses erros no posicionamento horizontal dos pontos em praias com rampa de 10% será dez vezes superior.

$$\Delta H = \frac{D^2}{2R} \tag{3.1}$$

$\Delta H \rightarrow$ *erro de nivelamento*
$D \rightarrow$ *distância nivelada*
$R \rightarrow$ *raio médio da Terra*

A cota atribuída ao ponto inicial do perfil na linha d'água foi subtraída da curva de maré do dia, em consonância com o conceito que foi usado para correlacionar os referenciais verticais. Portanto, também neste caso será necessário registrar os instantes em que a régua é lida sobre a linha d'água. Devido a isto, esse controle está associado a possíveis erros cronológicos do pico das marés e será atenuado se as medições forem efetuadas durante o estofo da maré. Testes de verificação da diferença cronológica realizados na região do experimento, através do uso de um escalímetro e um cronômetro, identificaram defasagem da ordem de 3 minutos, entre o tempo médio do estofo e o momento do pico da maré, registrado pela DHN (diretoria de hidrografia e navegação). O erro de altura da maré nesse intervalo de tempo depende do estágio de enchente ou vazante em que a maré se encontra, considerando seu comportamento sinusoidal e as pressões meteorológicas sobre a amplitude da maré local, conforme é citado em Vargas, *et al.* (2008). No caso Sauaçui, esse erro pode variar de 0 a 2,5 cm. Isto significa que o controle efetuado através

dessa técnica pode conter uma propagação de erros nos posicionamentos horizontais de até 25 cm nas praias com rampa de 10%.

Erros metodológicos

Outras fontes de erro que precisam ser levadas em conta nos posicionamentos pelo GPS no modo cinemático relativo são: a verticalidade do conjunto bastão-antena e a instabilidade na eqüidistância da antena ao solo. Os desvios de verticalidade da antena causam erros na posição geográfica dos pontos tanto na escala horizontal, quanto na escala vertical, sendo os primeiros mais significativos. Esses erros são de natureza sistemática e foram praticamente eliminados com o uso do veículo transportador da antena do GPS, devido ao sistema de fixação tri articulado para a antena. Como esse sistema mantém o conjunto bastão-antena sobre o eixo da roda do veículo, a eqüidistância da antena ao solo praticamente não varia, mesmo quando o operador é substituído por outro de altura não muito diferente.

Erros associados ao processo de interpolação

Para avaliar os erros devidos ao método interpolador usado para gerar o DEM da praia de Sauaçui, foram comparadas as alturas GPS de alguns pontos de controle com as respectivas alturas nos modelos gerados pelos interpoladores. Figura 3.8.

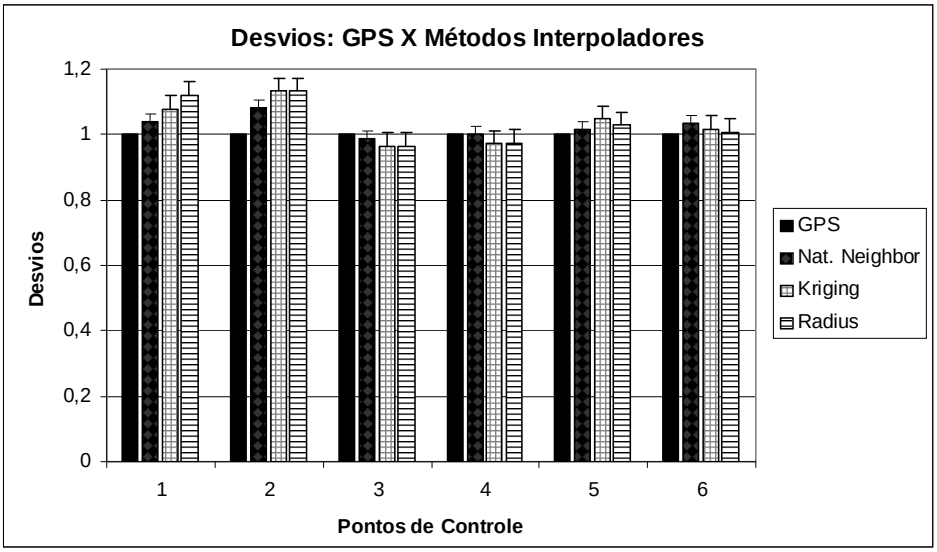

Figura 3.8. Gráfico dos desvios padrão dos modelos gerados pelos métodos interpoladores.
Figure 3.8. Standard deviations' graphs height of the models generated by interpolator methods.

Os pontos 1, 2, 4 e 6, estão localizados em partes da área de estudo, nas quais os perfis seguem a configuração básica, enquanto os pontos 3 e 5, estão em lugares onde essa configuração foi reforçada por um caminhamento adicional cruzado, de modo que a densidade dos pontos é bem maior.

Erros associados à redução das alturas e a inclinação entre os referenciais verticais

De acordo com Rocha *et al.* (no prelo, 2008), as reduções de altura para o nível do mar causam pequenos erros de posicionamento em virtude da diferença entre os raios de curvatura dos referenciais verticais do GPS e da maré, além de erros devido ao eventual não paralelismo entre a curvatura do elipsóide e a curvatura da linha d'água, ao longo da praia observada. Segundo Rocha *et al.* (no prelo, 2009), na primeira etapa dos estudos efetuados na praia de Sauaçui, os erros nas medidas horizontais provenientes da redução das alturas GPS para o nível do mar, foram inferiores ao milímetro e os erros nas medidas verticais devido ao não paralelismo entre a curvatura do elipsóide e a curvatura da linha d'água, foram da ordem de 10 mm, e que,

para mantê-los nessa ordem de grandeza em trabalhos mais extensos, basta coletar novas alturas GPS na linha d'água e re-observar a nova altura da maré, recalculando a constante de redução das alturas GPS para o referencial de nível das marés a espaços regulares de 600 m.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. RESULTADOS

Sobre o indicador de linha de costa e as curvas de maré

O indicador de linha de costa dessa pesquisa corresponde á curva de nível de cota 2,9 m acima do referencial de nível das marés, relativo ao porto da cidade de Maceió, no Estado de Alagoas, pois de acordo com Rocha *et al.*(no prelo, 2009), o *run-up* das ondas da praia Sauaçui foi estimado em 0,23 m e a mais elevada HWL local registrada nos últimos 20 anos, foi de 2,70 m.

As curvas de marés dos dias em que houve coleta de dados GPS foram geradas com base nas tábuas e tabelas de correção de marés publicadas pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) da Marinha do Brasil. Através delas pode-se verificar as alturas de marés nos respectivos instantes em que os dados GPS foram coletados. Figura 3.9.

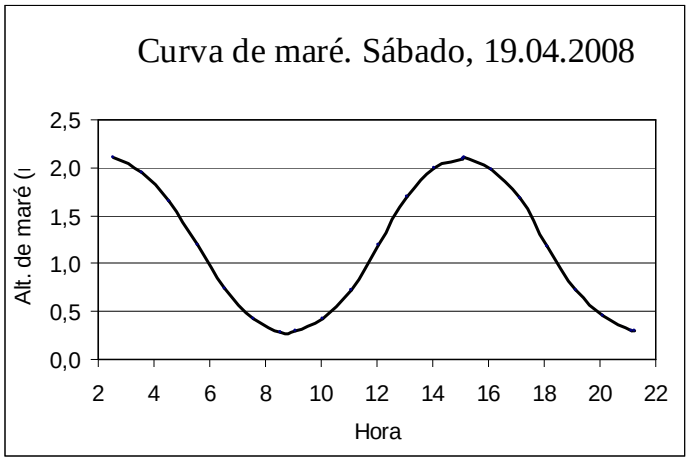

Figura 3.9. Curva de maré do dia 19 de Abril de 2008, corrigida da diferença de longitude entre a estação maregráfica de Maceió e Sauaçui. Esta curva exemplifica como foram estimadas as alturas da maré nos respectivos instantes em que a antena GPS foi colocada sobre a linha d'água, em cada etapa do monitoramento.
Figure 3.9. 19th April, 2008 tide curve, corrected of the longitude difference between the tide graphical station of Maceió and Sauaçui. This curve exemplifies how the tide's heights were estimated during the respective instants in which the GPS antenna was put upon the water line, in each step of the monitoring.

Redução das alturas GPS para o referencial de nível das marés

As constantes de redução das alturas GPS para o referencial de nível das marés (k_i), correspondentes às diferenças entre as alturas GPS (elipsoidais) registradas na linha d'água e as alturas das marés nos instantes concomitantes, conforme foram mostradas na tabela 3.1.

Os pontos coordenados (E_i; N_i; h_i), que constituem os perfis de praia gerados pelo GPS, deram origem aos conjuntos de pontos (E_i; N_i; h'_i), onde (h'_i) são as alturas dos pontos dos perfis de praia, agora referidos ao nível de redução das marés, conforme consta da tabela 3.2.

Monitoramento da linha de costa

Para visualizar as mudanças que ocorreram no traçado da linha de costa Sauaçui entre os anos 2006, 2007 e 2008 fez-se à sobreposição dos DEM. Neste caso, para não sobrecarregar a figura, as demais linhas de nível do modelo foram retiradas, mantendo-se apenas a linha de costa de cada ano do monitoramento. Figura 3.10.

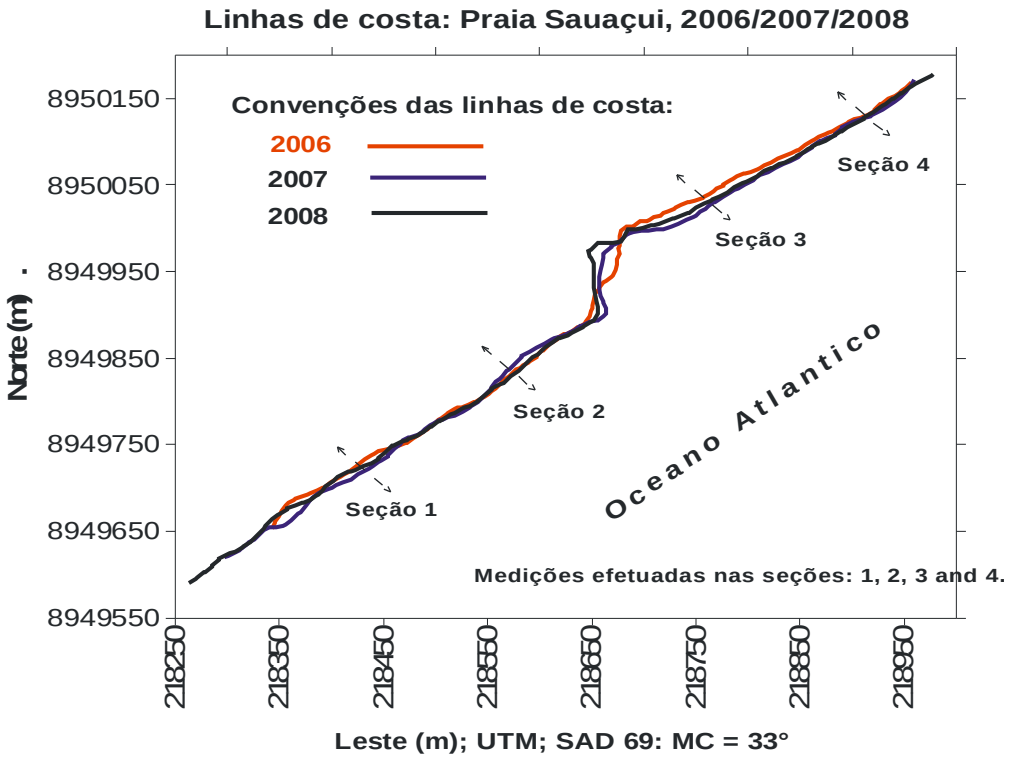

Figura 3.10. DEMs dos anos 2006, 2007 e 2008, sobrepostos. Esses DEMs mostram apenas a linha de costa de cada ano e a posição das seções 1, 2, 3 e 4, usadas para amostragem de deslocamentos pontuais no período monitorizado. As demais curvas de nível do modelo foram suprimidas para facilitar a visualização.
Figure 3.10. DEMs from the years of 2006, 2007 and 2008, overlapped. These DEMs show only the shoreline of each year and the position of the sections 1, 2, 3 and 4, used to sample punctual displacement, in the monitored period. The other level curves of the model were suppressed in order to ease the visualization.

As seções 1 e 4, indicadas na figura 10, localizam-se nas proximidades dos extremos Sul e Norte da área de estudos, respectivamente e as seções 2 e 3 estão próximos aos limites do intervalo de praia semi-obstruído pelas pedras e muros de proteção edificados pelos proprietários dos imóveis ameaçados pela erosão numa tentativa de fixar a linha de costa.

Os deslocamentos experimentados pela linha de costa no período monitorado podem ser visualizados integralmente, observando-se graficamente as diferenças no traçado das respectivas linhas. Entretanto esses deslocamentos também podem ser quantificados analiticamente para quaisquer pontos de interesse, com base na alteração das coordenadas, através da relação

trigonométrica dos triângulos retângulos, onde o deslocamento da linha de costa corresponde à hipotenusa e a variação das coordenadas N e E do ponto observado corresponde aos catetos, conforme está representado na equação 3.2. Figura 3.11. Tabela 3.3.

$$d = \sqrt{\left(\left(N_i - N_{(i-1)}\right)^2 + \left(E_i - E_{(i-1)}\right)^2\right)} \qquad (3.2)$$

$d \rightarrow deslocamento\ da\ linha\ de\ costa$

$(N_i ; N_{(i-1)}), (E_i ; E_{(i-1)}) \rightarrow Coordenadas\ dos\ pontos\ antes\ e\ depois\ do\ deslocamento$

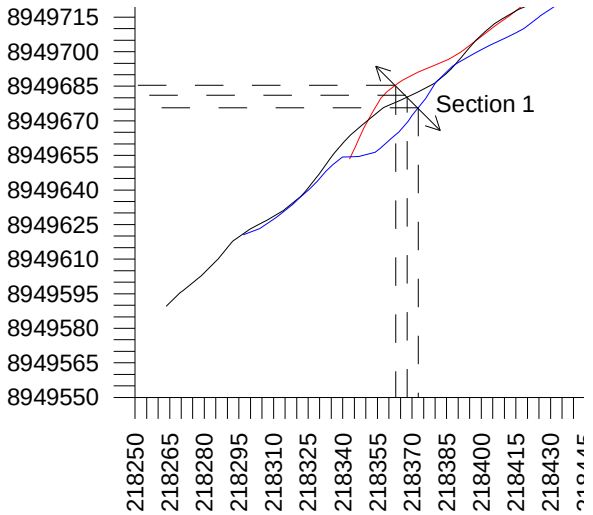

Figura 3.11. Detalhe ilustrativo da interceptação de uma seção transversal à linha de costa, de onde podem ser subtraídas as informações necessárias ao cálculo analítico dos deslocamentos, no ponto de interesse.

Figure 3.11. Transversal section to the shoreline interception illustrative detail from where the information needed to the displacement analytic calculus in the interest point can be subtracted.

Shoreline coordinates (m) - Sauaçui beach				
Section	Ears	Northing	Easting	displacement (m)
1	2006	8.949.717	218.413	0,00
	2007	8.949.712	218.418	-7,07
	2008	8.949.716	218.415	5,00
			acumulate	**-2,07**
2	2006	8.949.835	218.570	
	2007	8.949.838	218.565	6,02
	2008	8.949.835	218.571	-7,03
			acumulate	**-1,01**
3	2006	8.950.034	218.756	
	2007	8.950.027	218.759	-7,98
	2008	8.950.028	218.757	2,13
			acumulate	**-5,86**
4	2006	8.950.130	218.912	
	2007	8.950.130	218.912	0,00
	2008	8.950.130	218.912	0,00
			acumulate	**0,00**

Tabela 3.3. Demonstrativo de cálculo dos deslocamentos pontuais, com base na variação das coordenadas dos pontos das respectivas linhas de costa, interceptadas pela seção perpendicular a estas linhas no ponto de interesse.
Table 3.3. Demonstrative of displacement punctual calculus, based on the variation of the points' coordinates from the respective shorelines, intercepted by perpendicular section to those lines in the interest points.

Na seção 1 a linha de costa recuou cerca de 7 m no período 2006/2007; entretanto, avançou cerca de 5 m no período 2007/2008, mantendo um recuo de 2 m. Na seção 2 a linha de costa avançou cerca de 6,0m no período 2006/2007; entretanto, no período 2007/2008 recuou cerca de 7 m, prevalecendo um recuo de 1 m. Na seção 3, a linha de costa recuou cerca de 8,0 m no período 2006/2007 e avançou 2,0 m no período 2007/2008, prevalecendo um recuo de 6,0 m. E, na seção 4, a linha de costa manteve-se estável no período 2006/2008.

3.2. DISCUSSÃO

Várias técnicas baseadas na topografia convencional, interpretação de imagens aéreas e espaciais, GPS, ALS (Airbone Laser Scaning) etc., podem ser utilizadas para localizar e

monitorar linhas de costa. Entretanto, a grande variedade de indicadores de linha de costa consiste em um dos fatores que mais dificulta o seu monitoramento. Muitos pesquisadores, a exemplo de Moore *et al.* (2006), têm citado a escolha dos indicadores e a dificuldade de correlação dos referenciais verticais entre as principais fontes causadoras de inconsistências nos resultados.

O grande problema dos indicadores físicos é que estes mudam de endereço de acordo com as marés e suas marcas não são duradouras. O indicador de linha de costa usado para esse monitoramento está definido em Rocha *et al.* (no prelo, 2009) e corresponde a curva de nível de altura equivalente a mais elevada HWL registrada em uma série de vinte anos, acrescida da sobre elevação de 0,20 m devida ao *run-up.*

Uma das dificuldades em associar a linha de costa com as alturas de marés está no referencial vertical, sendo decorrente da vinculação entre o *datum* ortométrico (geóide) e os referenciais de maré. Ocorre que o nível do mar, a rigor, não segue o modelo geoidal e o geóide, por sua vez, também não mantém uma correlação constante com os *data* elipsoidais, referência dos posicionamentos geográficos pelo GPS (Shofield, 1993; Torge, 2001; Vanicek, 1986). Assim, a conversão entre as alturas medidas nesses referenciais, na maioria das vezes depende de informações pouco precisas, como ainda é o caso do MapGeo 2004 que ainda contêm inconsistências da ordem de 2m. Erros verticais dessa magnitude transferem erros horizontais de até 20 m nas praias com declive de 10% e inviáveis para detectar pequenos deslocamentos da linha de costa, como os que ocorreram na praia de Sauaçui, no período 2006/2008, conforme foi mostrado na seção anterior, os quais provavelmente são causados pela resultante das forças oriundas da corrente gerada pela desembocadura do Rio Sauaçui, das ondas e da resistência gerada pelas pedras usadas para proteger parte da praia.

A localização das linhas de costa desse estudo usou a mesma técnica de redução das alturas dos perfis de praia gerados pelo GPS para o referencial de nível das marés proposta em Rocha *et al.* (no prelo, 2009), através da identidade das alturas de um mesmo ponto relativas aos dois referenciais, por considerar que essa técnica evita prováveis erros oriundos da conversão entre os *data* verticais de maré e elipsoidal.

O uso do posicionamento tridimensional através de tecnologia GNSS, consiste em uma nova opção metodológica para levantamento da morfologia costeira. Embora os posicionamentos geográficos pelo GPS e a reprodução de relevos baseada em perfis topográficos há muito tempo já venham sendo utilizados, o processo aqui desenvolvido vai além da simples aplicabilidade da ferramenta GPS, quando agrega aos conceitos e procedimentos já consagrados, uma caracterização específica, associada ao uso que se destina. Por exemplo, o conceito de linha de costa aqui abordado permanece como a interface do mar com o continente, no limite efetivo da atividade marinha (Ruggiero *et al.*, 2003; Sugguio *et al.*, 1985; Webster, 1998). Entretanto, nessa pesquisa atribuiu-se ao indicador de linha de costa um endereço espacial, ao representá-la pela curva de nível de altura igual a mais elevada HWL de uma série temporal, acrescida do *run-up*. Isso significa atribuir à linha de costa uma representação matemática inequívoca, vinculada ao referencial de nível das marés, desvinculando-a das marcas residuais deixadas ou não pelas marés passadas e que a rigor não se repetirão. Dessa forma, é possível manter os padrões de procedimentos necessários ao monitoramento de uma linha de costa.

Além disso, o endereçamento adequado para um indicador de linha de costa, precisa ser espacial, já que os movimentos das marés não prescindem da escala vertical, sendo este um dos principais fatores da intensa dinâmica da linha de confronto entre o mar e o continente, cuja altura varia não só com as amplitudes das marés como também com o *run-up*, de porto a porto e os seus efeitos são propagados na direção horizontal com diferentes intensidades, de acordo com

a declividade da face de praia. Portanto, cabe aos pesquisadores de cada região verificar qual a curva de nível que melhor representará a linha de costa objeto de estudo, acrescendo-lhe a folga que julgar necessária e suficiente.

Contudo, a associação de técnicas e equipamentos provenientes de diferentes áreas do conhecimento como a geodésia, a oceanografia e as interpolações computadorizadas para reconstituir os relevos, requer um tratamento adequado dos erros inerentes a cada etapa do processo, para que os resultados sejam produzidos em conformidade com as necessidades do gerenciamento costeiro. Para isso, alguns cuidados foram tomados, como por exemplo, a construção de um pilar de concreto dentro da área de estudo. Essa decisão teve por objetivo alguns aspectos técnicos importantes, como a redução da linha de base e a conseqüente facilidade em fixar a ambigüidade da fase da portadora dos sinais GPS, usando algorítimo do tipo OTF (on the fly). Assim, os pontos que constituem os perfis foram gerados no modo cinemático com linha de base muito curta, da ordem de 0,2 km, contribuindo para a obtenção de perfis com precisão vertical da ordem de dois a três centímetros, sendo que o posicionamento vertical é mais crítico que o posicionamento horizontal (Hofmann-Wellenhof *et al.*, 1998).

Os DEMs foram gerados com base nos perfis de praia cujas alturas estão associadas ao referencial de nível das marés. Como esses perfis foram originalmente produzidos através de posicionamentos pelo GPS, foi necessário estabelecer as alturas de um mesmo ponto da linha d´água pelo GPS e pela curva de maré, pois a diferença entre essas medidas representa a grandeza que deve ser adicionada algebricamente às alturas dos pontos dos perfis gerados pelo GPS para reduzi-los ao referencial de nível das marés. O uso dessa técnica tem a vantagem de dispensar o conhecimento da altura da antena do GPS, eliminando o erro sistemático dessa medida, além de gerar um modelo que simula a face de praia, permitindo visualizar o diferenciado deslocamento horizontal da linha d´água nas áreas de baixa declividade. Entretanto, é preciso que a altura da

antena do GPS seja mantida do início ao fim de cada seção de trabalho. Nesse aspecto, o veículo transportador da antena mostrou-se bastante eficaz e com excelente relação custo-benefício, aumentando a comodidade e o rendimento do operador, além de praticamente eliminar os erros sistemáticos de verticalidade e medidas da altura da antena, pois o seu sistema de fixação tri articulado, mantém a verticalidade do conjunto bastão-antena durante o deslocamento, bem como a eqüidistância da antena ao solo.

A qualidade do produto final gerado por um interpolador depende da densidade e configuração dos pontos, da superfície a ser reproduzida. Assim, as superfícies de alguns estudos como Baptista *et al.* (2008), foram melhores reproduzidas pelos métodos TIN (*Triangular Irregular Network*) e Krig (*Kriging*) e em outros como, por exemplo, Souza (2002), o melhor método foi o IDW (*Inverse Distance Weight*) e, Franke (1982) e Botelho (2005), optaram pelo método NaN (*Natural Neighbor*). No caso Sauaçui, O Radial Basis Function foi o método interpolador que melhor reproduziu a superfície da praia, devido as melhores condições de minimização dos desvios entre os valores observados e calculados e a melhor suavização da superfície gerada.

Os posicionamentos da linha de costa da praia de Sauaçui estão fundamentados nos perfis de praia oriundos do levantamento tridimensional pelo GPS, referidos ao pilar de concreto edificado nessa praia, que por sua vez está vinculado ao marco 93206 do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro). A estabilidade desses referenciais garante afirmar que as transformações de linha de costa ocorridas nessa praia, durante o período observado, devem-se exclusivamente a sua morfodinâmica, já que também não foram constatadas alterações da HWL tomada para referência e o valor do *run-up* foi mantido para todos os períodos do monitoramento.

No que diz respeito ao planejamento das atividades de campo é preciso observar dois aspectos fundamentais. O primeiro concerne ao prolongamento dos perfis, que precisam

ultrapassar os limites da zona de espraio, de modo a garantir que a linha de costa seja contemplada e o segundo diz respeito à arquitetura dos perfis em planta, para evitar um espaçamento muito longo entre um perfil e outro, que dificultaria a geração do DEM pelo interpolador. Algumas vezes a circulação do operador pode ser limitada, como ocorreu na parte obstruída pelas pedras na praia de Sauaçui, ou os sinais dos satélites do GPS podem ser bloqueados, como é suscetível de acontecer nas praias margeadas por aglomerados de edifícios. Na configuração atual em que os perfis foram desenvolvidos, constatou-se um rendimento da ordem de 1,5 km por hora, que poderá ser melhor se o trabalho visar exclusivamente à linha de costa, pois nesse caso, os perfis poderão ser encurtados, passando a ter a linha de costa como centro.

4. CONCLUSÃO

O comportamento geral da linha de costa da praia de Sauaçui sugere variações sazonais, com predominância de recuo no setor centro-norte. Os perfis de monitoração plotados nos DEMs dos anos 2006, 2007 e 2008, indicaram recuo final da linha de costa da ordem de 2 m no extremo sul, 1 m no setor centro-sul, 6 m no setor centro-norte e razoável estabilidade no extremo norte da área de estudos.

A parte central da área monitorada encontra-se semi-obstruída pelo acúmulo de pedras e muros de proteção que impedem a evolução natural da linha de costa. Atualmente, as ondas se chocam contra esses obstáculos nas marés altas de sizígia. Nesse seguimento de praia, a configuração dos perfis precisou ser adaptada, devido à limitação da circulação do operador que conduzia a antena e por isto as curvas geradas pelo método interpolador, apresentam algumas rupturas, que denunciam incertezas no traçado da linha de costa, nesse setor.

As mudanças que vêm ocorrendo na linha de costa da praia de Sauaçui são influenciadas pelas correntes geradas pela desembocadura do rio Sauaçui, que fica 0,6 km ao norte da área de estudo, aproximadamente. Em geral, os deslocamentos da linha de costa dessa praia, mostraram-se de natureza sazonal, com claras evidências de avanço no setor obstruído pelas pedras e muros, na parte central da área monitorada e recuo no setor centro-norte. Esses deslocamentos precisam ser monitorados por mais tempo para quantificar a sua velocidade e certificar a sua tendência, já que a sazonalidade dos deslocamentos foi parcial, ou seja, a linha de costa não retornou completamente ao local de origem.

Os testes aplicados para avaliar a precisão com que os modelos foram gerados denunciam a importância da arquitetura dos perfis de praia, pois os melhores resultados foram observados nos testes das áreas com maior densidade e homogeneidade na distribuição dos pontos. Uma boa relação custo-benefício foi observada para afastamentos da ordem de vinte e cinco metros, cujos DEMs resultam erros verticais da ordem de 3,2 cm. Convém salientar que erros verticais dessa magnitude transferem erros horizontais de 32 cm em praias com rampa de 10% e que nesta pesquisa, os perfis de controle de localização da linha de costa indicaram desvios horizontais da ordem de 60 cm. Portanto, esse é um fator que precisa ser observado na tomada de decisão de uso dessa técnica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE pela gentileza de ceder os receptores GPS usados nesse estudo, a CAPES pela concessão de uma bolsa de estudos (primeiro autor) e a Universidade Federal de Alagoas, pelo incentivo à capacitação do docente a ela vinculado (primeiro autor).

LITERATURA CITADA

Baptista, P.B; Bastos, L.C.; Bernardes, C.A.; Cunha, T.R. and Dias, J.A., (2008). Aplicação de Metodologia de Monitorização GPS em Litorais Arenosos. Geração de Modelos de Elevação do Terreno. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8(1): 9-23. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista8f1_1.pdf

Baptista, P.B; Bastos, L.C. Bernardes, C.A.; Cunha, T.R. and Dias, J.A. (2007). Monitoring Sandy Shore Morphologies by DGPS – A Pratical Tool to Generate Digital Elevation Models. *Journal of Coastal Research*, 24(6):1516-1528. (doi: 10.2112/07-0861.1)

Botelho, M.F., Silva da, C.R., Schoeninger, E.R. & Centeno, J.A.S. (2005) - Comparação dos resultados de interpoladores "Vizinho mais próximo" e "Inverso de uma distância" no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 731-736, INPE, São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.20.47>

Espartel, L. (1982) - *Curso de Topografia.* 8ª. edição, 655p., Editora Globo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Esteves, L.S., Silva, A.R.P., Arejano, T.B., Pivel, M.A.G. & Vrajane, M.P. (2003) - Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI35:548-556.

Franke, R. (1982) - Scattered Data Interpolation: Test of Some methods, *Mathematic of Computations*, 33(157):181-200.

Graham, D., Sault, M. & Bailey, J. (2003) - National Ocean Service Shoreline – Past, Present, and Future. *Journal of Coastal Research,* SI38:14-32.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. (1998) - *Global Positioning System – Theory and Practice*. 4th Edition, Springer-Verlag, Inc. (ISBN: 3-211-82839).

Leatherman, S. P. (2003) - Shoreline change mapping and management along the U.S. East cost. *Journal of Coastal Research*, SI38:5-13.

Leite, E. P. F. ; Silva, J. S. ; Gomes, G. S. (2007). Obtenção de modelo numérico do terreno de alta resolução utilizando o interpolador spline com tensão regularizada. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica - CONNEPI, João Pessoa-PB, Brasil, v. cd-rom. p. 1-10. Disponível em http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080922_103856_GEOM-012.pdf

Moore, L.J., Ruggiero, P. & List, J.H. (2006) - Comparing Mean High Water and High Water Line shorelines: Proxy *Datum* Offsets be Incorporate into shoreline Change Analyses. *Journal of Coastal Research,* 22(4):894-905. (doi: 10.2112/04-0401-1).

Morton, R.A. & Speed, F.M. (1998) - Evaluation of shoreline and legal boundaries controlled by water levels on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, 14(4):1373-1384.

Muehe, D. (1996) - Geomorfologia costeira. *In:* Cunha S.B. da & Guerra A.J.T., *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Bertrand Brasil, pp. 191-238, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (ISBN: 8528605485).

Pajak, M.J. & Leatherman, S.P. (2002) - The high water line as shoreline indicator. *Journal of Coastal Research*, 18(2):329-337.

Parker, B.B. (2003) - The difficulties in measuring a consistently defined shoreline - the problem of vertical referencing. *Journal of Coastal Research,* SI38:44-56.

Rocha, C.P., Araújo, T.C.M. & Mendonça, F.J.B. (*in press*, 2008) - Methodology for Shoreline location using the 3D-GPS positioning: a case study at Sauaçui beach, Brazilian Northeast. *Journal of Coastal Research, in press*. ISSN 0749-0208. DOI 10.2112/08-1108.1.

Rocha, C.P.; Araújo, T.C.M. e Mendonça, F.J.B. (2008) - Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo de caso na praia de Boa Viagem, Recife/PE, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8(2):127-137. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/RGCI-139_Rocha.pdf

Ross, J.L.S. (2007) - *Geomorfologia, Ambiente e Planejamento*. 86p., Ed. Contexto, São Paulo, SP, Brasil. , 1ª edição. (ISBN: 8585134828).

Ruggiero, P., Kaminsky, M. G. & Gelfenbaum, G. (2003) - Linking proxy-based and *Datum*-based shorelines on a high-energy coastline: implications for shoreline change analyses. *Journal of Coastal Research*, SI38:57-82.

Segantine, P.C.L. (2005). Sistema Global de Posicionamento - GPS. 1 ed. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, V. 1000. 364p.

Souza, E.C.B. (2002) - *Análises temporais de alta precisão utilizando GPS para avaliação das variações volumétricas ocorridas no ISTMO da Ilha do Mel.* Dissertação de mestrado, 149p. UFPR – Universidade Federal do Paraná, PR, Brasil.

Sugguio, K., Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.M. & Azevedo, A.E.G. (1985) - Flutuações do Nível do Mar Durante o Quaternário Superior ao Longo do Litoral Brasileiro e suas Implicações na Sedimentação Costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15:272-286.

Torge, W. (2001) - *Geodesy*. Walter de Gruyter, 3rd edition, 2nd. edition, 416p., Berlim, Alemanha. (ISBN: 311070728, 9783111017072).

Vanicek, P. & Krakiwsky, E.J. (1986) - *Geodesy, The Concepts*. Elsevier, Canada, 714p. (ISBN: 10-0444877754).

Vargas, C.I., Oliveira, F.S.B, Oliveira, A.S.B. & Charneca, N. (2008) - Análise da Vulnerabilidade de uma praia Estuarina à Inundação: Aplicação à Restinga do Alfeite (Estuário do Tejo). *Revista de Gestão Costeira Integrada*. 8(1): 25-43. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista8f1_2.pdf

Webster (1988) - *The Webster's Ninth New Collegiate Dictionary.* 1564p., Merrian – Webster, Springfield, MA, USA.

Zhang, K., Huang, W., Douglas, B.C. & Leatherman, S.P. (2002) - Shoreline positions variability and long-term trend analysis. *Shore & Beach*, 70(2):31-35.

Capítulo 4

Shoreline monitoring using GPS positioning three-dimensional of the Japaratinga beaches, Brazilian northeast

Rocha, C. P.; Araújo, T. C. M.; Mendonça, J. B., 2008. *Shoreline monitoring using 3D-GPS positioning of the Japaratinga beaches, Brazilian northeast*. Submetido ao *Brazilian Journal of Oceanography*.

RESUMO

O principal objetivo dessa pesquisa foi aplicar uma nova metodologia para acompanhamento das variações de linhas de costa em curto período em duas praias do litoral do município de Japaratinga, no estado de Alagoas, costa Nordeste brasileira. Para avaliar eventuais alterações no limite da zona de confronto entre o mar e o continente nas praias monitoradas, aplicou-se um padrão de procedimentos metodológicos, usando o mesmo indicador de linha de costa, cujos posicionamentos geográficos foram correlacionados a referenciais estáveis. O indicador de linha de costa aqui utilizado corresponde à curva de nível 2,8 m acima do referencial de nível das marés, sendo equivalente à máxima HWL (*high water line*), registrada nos últimos 20 anos (2,6 m), acrescida do *run-up* (0,2 m) e o monitoramento consistiu em comparar, caso a caso, os traçados de dois trechos da linha de costa nas praias do município de Japaratinga, denominadas Barreiras de Japaratinga e Pontal do Boqueirão. A localização geográfica dos indicadores de linhas de costa foi estabelecida com base na reprodução dos relevos dessas praias nos anos 2006, 2007 e 2008, ou seja, a partir dos DEM (*Digital Elevation Model*) das faces de praia. Esses DEM foram modelados em um programa interpolador, cujos dados de entrada consistiram nas coordenadas tridimensionais dos respectivos conjuntos de perfis de praia, geradas através de técnicas de posicionamento cinemático pelo GPS, cujas alturas (elipsoidais) foram reduzidas ao referencial de nível das marés, nos quais as linhas de costa foram identificadas por equivalência de altura entre uma das curvas de nível geradas pelo método interpolador e a altura do indicador de linha de costa selecionado. A verificação das variações das linhas de costa nas praias monitoradas é obtida pela sobreposição dos DEM dos referidos anos de pesquisa. Nesses estudos, foram constatados movimentos sazonais e deslocamentos de até 6,0 m, ao longo dos trechos monitorados.

Palavras-chave: GPS; HWL; datum; vdata; *run-up*; elipsóide; geóide; linha de costa; Brasil.

ABSTRACT

The main objective of this study was to test a new tool for the monitoring of the shoreline short term variations on two beaches of the Municipality of Japaratinga, in the state of Alagoas, Brazilian Northeastern coast. In order to evaluate eventual alterations on the limits of the land-sea

confrontation zone on the monitored beaches, a pattern for methodological procedures was applied using the same shoreline indicator, whose geographical positioning was correlated to stable references. The shoreline indicator here utilized corresponds to the curve with level 2.8 m above the sea level reference, being equivalent to the maximum HWL (high water line) registered in the last 20 years (2.6 m), adding the *run-up* (0.2 m) and the monitoring consisted in a case-by-case comparison between the lines of two shoreline segments of the beaches in the municipality of Japaratinga, called Barreiras de Japaratinga and Pontal do Boqueirão. The geographical location of the shoreline indicators was established based on the reproduction of those beaches' terrains in the years 2006, 2007 and 2008, that is, from the DEMs (Digital Elevation Models) of the beach faces. The DEMs were modeled in an interpolator program, whose input data were three-dimensional coordinates of the respective sets of beach profiles, generated through GPS cinematic positioning techniques, whose heights (ellipsoidal) were reduced to the sea level (tidal) reference, in which the shorelines are identified by height equivalence between one of the level curves generated by the interpolating method and the height of the selected shoreline indicator. The verification of the shoreline variations in the monitored beaches is obtained by the overlapping of the DEMs of the referred research years. In those studies, seasonal movement and dislocations of up to 6.0 m throughout the monitored segments were observed.

Key words: GPS; HWL; datum; vdata; *run-up*; ellipsoid; geoid; shoreline; Brazil.

INTRODUCTION

The interaction between men and water is part of the survival history of human beings, because the food abundance and the scenic beauties have transformed the coasts in zones of primordial interest for inhabitance, work and leisure. However, the combination of natural phenomena with men-made activities might alter the dynamic of the coastal appearance, rendering the effects of storms and tides devastating on the geomorphology of the beaches. Among the human activities, which often catalyze the action of natural agents, the costal engineering constructions in general and the mineral and vegetable extraction are highlighted (Esteves *et al.* 2003). Therefore, the perception of the vulnerability of a coast zone needs to be, everyday, more dynamic and efficient.

Currently, techniques of great tracing capacity are already utilized as a support toll in costal management, like, for example, the ALS (Airborne Laser Scanning) system, which, according to Baptista *et al.* (2007, in press), might reproduce great surfaces with sub metric precision. However, the considerable acquisition and equipment operation costs make it difficult the apply them to monitor the areas with accentuated morph dynamic, like the shoreline. Anyhow, the usage of equipment with great precision and performance for shoreline monitoring incurs into a variety of indicators which are commonly used to represent them, such as: beach crest, wave spread line, MHW (Mean High Water), HWL (High Water Line) and beach vegetation contour line. These indicators are listed in several researches, like for example: Leatherman (2003); Moore *et al.* (2006); Morton and Speek (1998); Pajak and Leatherman (2002); Parker (2003); Rocha et al (in press, 2008); Zhang *et al.* (2002), and some of them, due to their inherent metamorphosis, need to be referred in time and space, as in the case of MHW and HWL. Others are seasonal and/or discontinuous, varying according to the beach geomorphology, as in the case of the marks left by the wave spread, beach vegetation contour line, beach crest, etc, which can only be applied in specific beaches, where their marks remain visible. Therefore, among the previously mentioned shoreline indicators, the wave spread line, that is, the HWL added of the *run-up* of the waves has been establishing itself as the most compatible one, because it represents the effective limit for sea action, being utilized in several researches, among which, Graham *et al.* (2003); Moore *et al.* (2006); Pajak and Leatherman (2002) and Rocha *et al.* (in press, 2008).

The main objective of this study was to evaluate the shoreline evolution on two beaches on the north coast of the state of Alagoas, Brazil, believed to have considerable morph dynamic, in the time period from 2006 to 2008, using the shorelines location technique described in Rocha *et al.* (in press, 2008), as a contribution for improving the costal management.

METHODOLOGY

Location of the experiment

This experiment was carried out at the Pontal do Boqueirão and Barreiras de Japaratinga beaches, located in the municipality of Japaratinga, Alagoas, Northeast of Brazil. Figure 4.1.

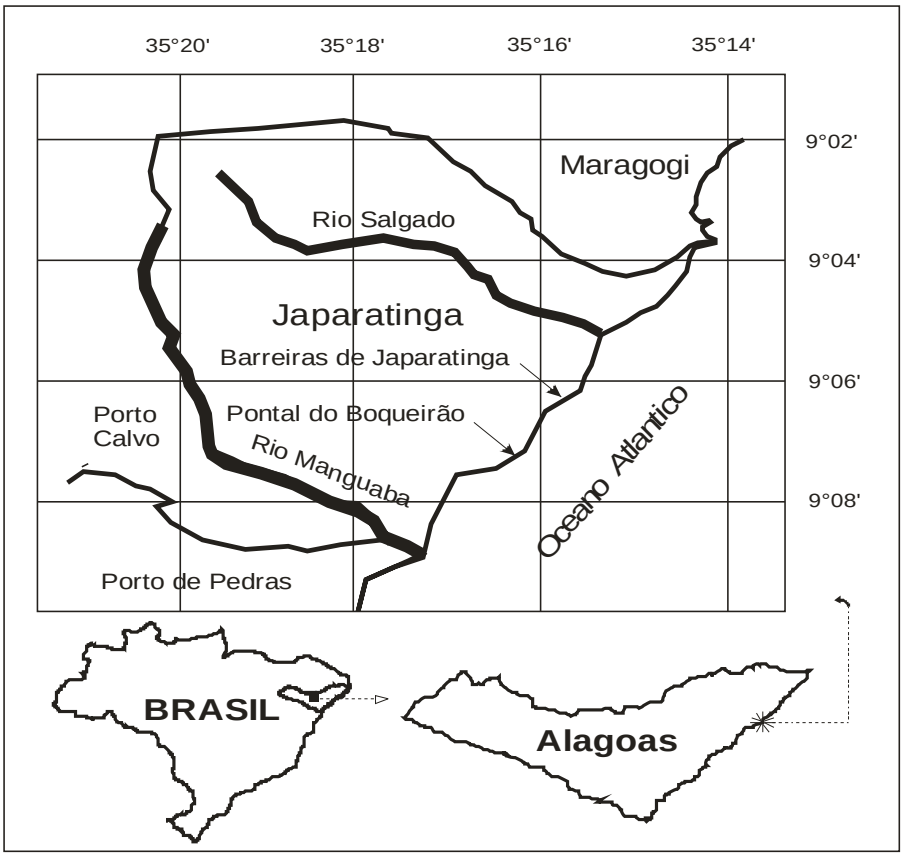

Figure 4.1. Scheme of the studied area, encompassing the two monitored beaches.

The coast adjacencies of the municipality of Japaratinga are the municipalities of Porto de Pedras to the South and Maragogi to the North. The shoreline where these studies are concentrated possesses the shape of a cove, whose azimuths vary between 340º on the far South and 60º on the far North, when traveled from the South to the North, in other words, the shoreline shows an azimuth variation of around 80º, over which the incidence of waves formed by the air currents coming from the Southeast predominates (Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), 2006).

The Pontal do Boqueirão beach is located at the far South of the municipality of Japaratinga, close to the mouth of the Manguaba river, which separates the municipalities of Japaratinga and Porto de Pedras. According to the IBGE (2006), there is a prevalence of yellow latosoil in the geological composition of the soils from this micro-region. The Barreiras de Japaratinga beach is located in the far North of the studied area, where mainly dystrophic red clay soils and dystrophic yellow latosoil occur, the cliffs interfacing with the sea are also highlighted (IBGE, 2006). The

scenic attractions of these beaches draw tourist attention and the following human interference with its permanent infrastructures, such as the road structure close to the beach, whose slope is often affected by landslides and other activities, like, for instance, landfill containment with stone walls, against which the waves discharge all of their energy during the spring high tides. The most affected region by these human activities is located near the far North of the monitored segment of the Barreiras de Japaratinga beach, where there is a containment wall approximately 90 m wide, forming a continuous line with the face of the local cliff. Isolated solutions for the containment of shoreline advance might contribute to change the natural sediment flow to the adjacent regions, as it has been already mentioned in the literature referring to other locations, such as Esteves *et al.* (2003).

As an example of what occurs in a great portion of the Brazilian Northeastern coast, there is a nearly continuous formation of reefs on these beaches too, which help to dissipate the energy of the waves, lessening the whirl pooling of the sediments in the shore face (Muehe, 1996).

Georreferencing of the studied area

The first step of the field work consisted in the implantation of a concrete benchmark on the Pontal do Boqueirão beach, followed by the gathering of GPS data for its Georreferencing. This benchmark was constructed according to the specifications of the IBGE for the benchmarks that integrate the SGB (Brazilian Geodesic System) network and its Georreferencing was effectuated through GPS positioning in the relative static mode, taking the SAT 93208 station, which belongs to the SGB, as a reference, located approximately 15 km away from the studied area. All the procedures and calculations followed the methodology applied in Rocha *et al.* (in press, 2008). Afterwards, based on the coordinates of Pontal do Boqueirão's benchmark, data from inside the studied area, in the years 2006, 2007 and 2008, was collected, with the objective of generating the profile of the beaches, as well as associating the height of these profiles, generated by the GPS, to the sea level reference. According to Rocha *et al.* (in press, 2008), in order to associate the heights, it is necessary to know them from the same point in both vertical reference systems: GPS and tidal. Following that, a quota identity was carried out, generating a constant reduction between these references. The identification between the heights means a tangent contact between the ellipsoidal and tidal data, in the point were both heights were measured and the

difference between them represents a reduction constant which must be algebraically added to all beach profile heights to reduce them to the sea level reference.

As it will be shown further ahead, this information was collected in the respective beaches and years, case by case.

GPS-antenna transportation vehicle

The GPS positions in the studied area were generated through a technique of cinematic positioning relative to Pontal do Boqueirão's benchmark. This requires the conduction of the antenna of one of the GPS receivers. To facilitate this conduction, a non-motorized vehicle was used, it was equipped with a tri-articulate support system which keeps the GPS's rod-antenna set in the vertical direction while the vehicle is moving, as well as its equidistance from the ground, according to Rocha *et al.* (in press, 2008). The GPS data recording rate was programmed so that at least one coordinated point by profile linear meter could be obtained. Besides, the vehicle driver's degree of freedom was limited, so that the profiles could comprise at least one shoreline point at every 25 m.

***Run-up* measurement**

The energy of the waves, both in Pontal do Boqueirão and Barreiras de Japaratinga, is greatly lessened by the reef barrier in the shore face. The *run-up* measures on these beaches resulted in maximums of about 0.23 m, whose differences do not justify the adoption of differentiated values, which would imply in different shorelines representation heights, once it results from the addition of the highest registered HWL in a time series with the *run-up*. These measurements were carried out using the same technique used in Rocha *et al.* (in press, 2008).

Sea height and correlation of the vertical references

The shoreline indicator here adopted corresponds to the highest HWL of a time series, with the addition of the *run-up*, and the DEM reproduces the beach face, because they were generated based on profiles whose heights, originating from the GPS, were reduced to the tidal datum. Therefore, the usage of this approach is completely correlated to the heights of the tides. The definition of the HWL depends on the examination of the tide's historical series and the reduction of the beach profiles heights for the vertical tidal reference, requires the exact knowledge of the

sea height on the moment that the GPS receiver registered the ellipsoidal height on the waterline. Therefore it will be necessary to reproduce the curves of the tide on the days that the GPS data was collected. Gathering GPS data on the waterline means to make it possible to know the height of a same point in the level references of the GPS (ellipsoid) and of the tides (tidal). The difference between these heights corresponds to an identification constant between these references. Thus, in order to correlate the beach profiles generated by the GPS with the sea level reference, it is enough to make a quota identity in this point, as in the scheme displayed in Rocha *et al.* (in press, 2008).

Interpolator method utilized to generate the DEM

According to Baptista *et al.* (2008) and Rocha *et al.* (in press, 2008), the performance of an interpolator method depends on the density and configuration of the data available to the interpolator. The performance of the interpolator methods used in this study was evaluated through the comparison between the heights generated directly by the GPS and the respective heights produced by the interpolator in some control points, as well as by observing the occurrence of rupture lines on the level curves of the produced model.

Errors

Instrumental errors

According to Hofmann-Wellenhof *et al.* (2001), apud Baptista *et al.* (2008) and Rocha *et al.* (in press, 2008), the precision of the GPS positioning in the dynamic relative differential mode is around 0.01 m and 0.02 m for the horizontal and vertical measures, respectively, added of the 2ppm factor (variable with the length of the baseline). Since the positions of the points in the studied area were defined based on the Pontal do Boqueirão benchmark, the addition factor in the error of the measurements may be neglected for the points pertaining to that beach, because the baseline is of around just 0.25 km. In the case of the points pertaining to the Barreiras de Japaratinga beach, this addition will be of around 0.03 m. According to Baptista *et al.* (2007, in press) and Rocha *et al.* (in press, 2008) the precision of the GPS positions generated in the cinematic mode is also affected by the instability in the verticality of the rod-antenna set and variations in the equidistance from the antenna to the ground. These errors are of a systematic nature and were practically eliminated with the usage of the GPS antenna transportation vehicle,

due to the tri-articulated fixation system for the antenna, which maintains the verticality of the rod-antenna set during the movement. Since this system was designed to keep the rod-antenna set over the axis of the vehicle wheels, the equidistance from the antenna to the ground practically doesn't change, even when the operator is replaced by another of similar height.

Methodological errors

The main error-generating sources associated to the application of this monitoring approach are originated from the GPS positioning, the information referring to the tidal height, the inaccuracies of the interpolating method and of the correlation between the vertical references. As we have already seen, the errors originated by the geographical positions generated by the GPS, with the usage of the chosen techniques, is of approximately 3 cm and may be neglected in the shoreline location studies, because this magnitude is little representative given the small natural undulations of the beach face.

The errors associated to the correlation between the tidal, ellipsoidal and vertical data are caused by eventual chronological mismatch of the tide peak and translate themselves in tide height. Tests carried out by Rocha *et al.* (in press, 2008) identify chronological setbacks of about 3 minutes between the average time of the ebb tide slack and the moment of tide peak, identified by the DHN. According to these researchers, the tide height error in this time period depends on the stage of the flood or ebb in which the tide is, on the degree of sinusoidal behavior and on the amplitude of the tide on the observed location, varying from 0 to 2.5 cm, on the beaches in this region. The propagation of these horizontal positioning errors might reach 25 cm on beaches with a 10% ramp.

As for the interpolation errors, according to Rocha *et al.* (in press, 2008), the distortions caused by the interpolator method utilized to generate the DEMs will be of around 2 cm, varying in conformity with the method, the density and the distribution of the points in the area to be modeled.

Errors originated from the correlation between the vertical: tidal and ellipsoidal references might also occur, due to the difference between the magnitudes of the curvature radius of these references and to the eventual non-parallelism between the ellipsoid curvature and the waterline curvature, according to this direction. This error is likely to occur because, when carrying out the quota identity in the waterline point, a tangent contact between the referential ellipsoid's surface

and the tide reduction plane occurs. However, necessarily, they are not parallel and do not have the same curvature radius. Rocha *et al.* (in press, 2008) and Rocha *et al.* (in press, 2009), have estimated that the errors due to the reduction of GPS heights were of small magnitude and could be neglected and that the errors caused by the non-parallelism were of approximately 10 to 12 mm, respectively. In order to make that estimation, these researchers have taken into account the distancing measurements between the ellipsoid and the waterline in three points of Alagoas' and Pernambuco's coast, being one of the observed points located within the studied area of Pontal do Boqueirão, Alagoas.

RESULTS AND DISCUSSION

Results

On the tidal curves and shoreline indicator

The shoreline indicator adopted in this study corresponds to the highest HWL ever registered by Suape's tide gauge in the last 20 years in the state of Pernambuco, which was of 2.6 m above de tidal datum, with the addition of the wave *run-up*, which, in the case of these beaches, was estimated in 0.23 m. Thus, the shoreline of the Japaratinga beaches are going to be represented by the quota level line 2.8 m above the tidal datum of Porto de Suape/PE.

The tidal curves of the days when GPS data was collected were generated based on correction charts and tables published by the DHN (Hydrograph and Navigation Directory) of the Brazilian Navy, regarding Suape's port in the state of Pernambuco. Through them it is possible to identify the height of the tides in the respective instants when the GPS data was collected. Since there was no difference in the amplitude of the tides between the ports in Suape and Maceió – Japaratinga is located between them – only a correction of the height of the tide was performed, given the time setback, proportional to the longitudinal difference between these locations. Figure 4.2

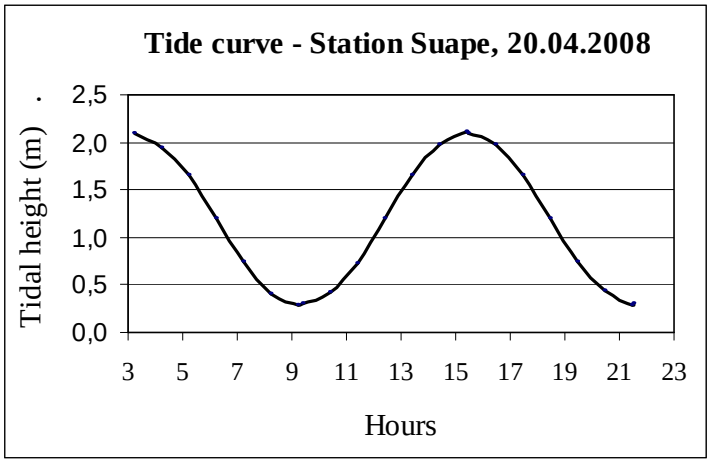

Fig. 4.2 Tidal curve on April 20th, 2008, corrected by the longitudinal difference between Suape's tide gauge station and the studied location. This curve exemplifies how the heights of the tides were estimated in the respective instants when the GPS antenna was placed over the waterline on each day that the beach profiles were generated.

Reduction of the GPS heights for the sea level reference

The GPS-heights reduction constants for the sea level reference (k_i) correspond to the differences between the GPS heights registered on the waterline and the heights of the tides in the respective instants, identified in the tidal curve, case by case. Table 4.1.

Year	GPS height h (m)	Tide height A (m)	Red. Cte k (m)	Obs.:
Reference: Barreiras of Japaratinga beach				
2006	21,484	0,870	20,614	08:35hs, September 17
2007	21,375	0,920	20,455	10:40hs, March 17
2008	21,498	1,270	20,228	12:36hs, April 20
Reference: Pontal of Boqueirão beach				
2006	21,315	1,030	20,285	09:10hs, September 17
2007	21,319	1,440	19,879	11:35hs, March 17
2008	22,001	1,650	20,351	13:24hs, April 20

Table 4.1. GPS-heights reduction constants for the sea level reference.

Of the processing of the GPS data correspondent to the points which compose the beach profiles it is possible to obtain, originally, the groupings of coordinated points (N_i; E_i; h_i) of the respective years when the data was collected, where (N_i; E_i) are the geographical coordinates North and East, expressed in the UTM (Universal Transversal Mercator) rectangular plane

system format and (h_i) are the GPS heights referring to the SAD 69 ellipsoid and that were reduced in this study to the sea level reference. This reduction consisted of algebraically adding the correspondent reduction constant (k_i), shown on table 1, to each height (h_i). From this operation, resulted the grouping of coordinated points (N_i; E_i; h'_i), of every monitoring year, where (h'_i) are the heights of the beach profile points, now referred in the level of tide reduction. Table 4.2.

	Coordinates		Height			
Point	**Easting**	**Northing**	**Tidal**	**GPS**	**k**	
1	249561,721	8990571,247	**0,870**	21,484	**20,614**	Start survey
2	249560,586	8990574,005	1,246	21,860		
3	249558,957	8990577,794	1,648	22,262		
4	249554,542	8990585,282	2,496	23,110		
5	249551,607	8990587,941	2,835	23,449		
6	249549,769	8990588,612	2,928	23,542		B. Japarat 2006
1	249572,319	8990580,868	**0,920**	21,375	**20,455**	Start survey
2	249570,217	8990578,464	0,750	21,205		
3	249571,980	8990577,621	0,625	21,080		
4	249569,976	8990582,245	1,089	21,544		
5	249567,948	8990586,943	1,568	22,023		
6	249565,558	8990588,945	1,816	22,271		B. Japarat 2007
1	249.424,530	8.990.463,743	**1,270**	21,498	**20,228**	Start survey
2	249.424,530	8.990.463,588	1,400	21,628		
3	249.424,841	8.990.470,677	1,862	22,090		
4	249.413,629	8.990.468,724	2,340	22,568		
5	249.407,248	8.990.468,353	2,671	22,899		
6	249.402,512	8.990.467,691	3,001	23,229		B. Japarat 2008

Table 4.2. Exhibit of a few coordinated points in the years of 2006, 2007 and 2008, whose GPS heights (h_i) were reduced to the sea level reference (h'_i).

The groupings of points sampled on table 2 constitute the beach profiles of the respective monitoring year, whose progress architecture encompassed the beach face in zigzag, from the waterline until it surpasses the height of the supposed spread line of the waves, visualized by the marks left during the last spring tides. Figure 4.3

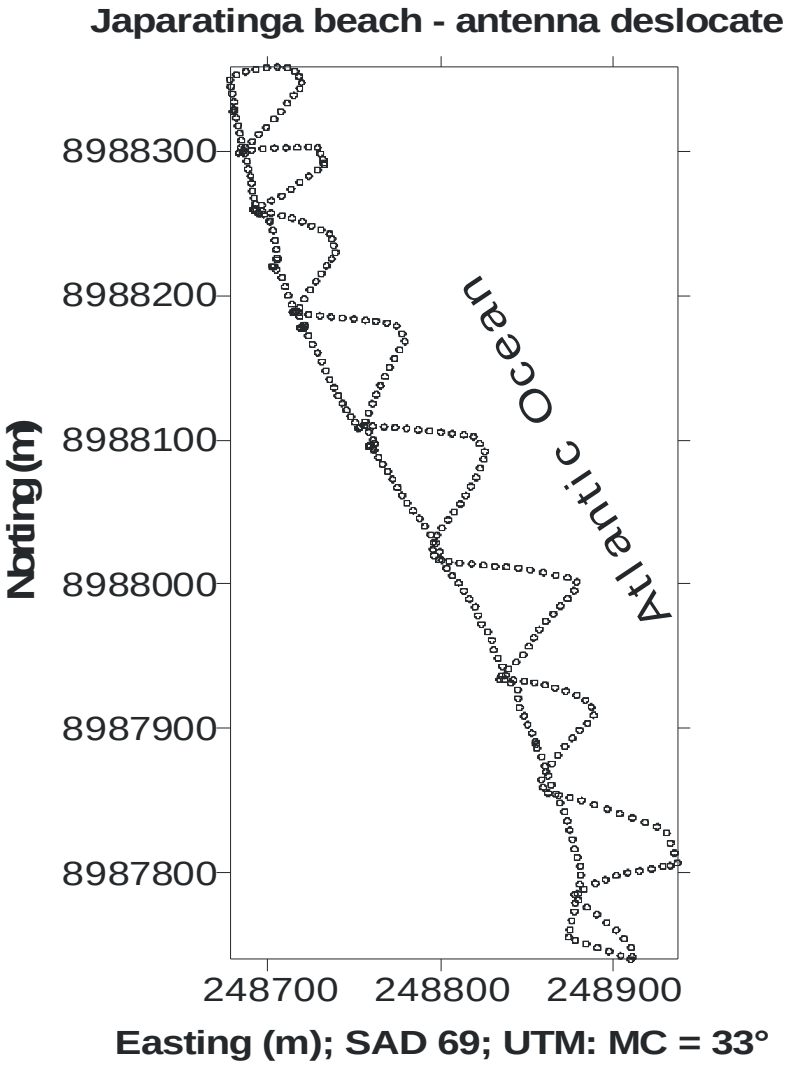

Fig. 4.3. Sampling of the distribution architecture of the beach profiles. The DEMs were generated based on the coordinated points of these profiles.

Generation of the DEMs and shoreline monitoring

The DEMs of the Pontal do Boqueirão and Barreiras de Japaratinga beaches, referent to the years 2006, 2007 and 2008, were generated in an interpolator program, inserting, case by case, the groups of coordinated points (E_i; N_i; h'_i), which correspond to the beach profiles, whose vertical reference is the level of tide reduction, so that the surfaces generated by the interpolator will serve to simulate the surfaces upon which the waterlines move during free tidal movement. Figure 4.4.

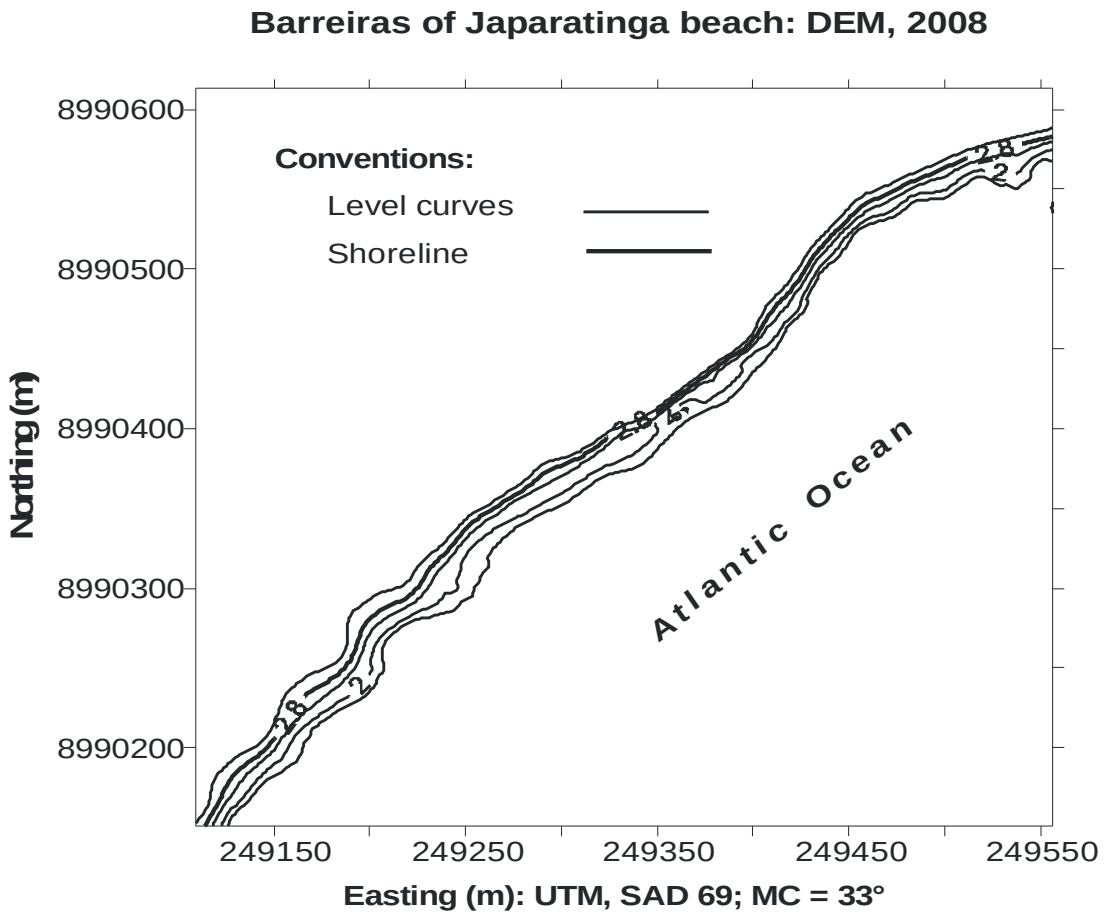

Fig. 4.4 DEM of the Barreiras de Japaratinga beach, 2008, where the shoreline in a 2.8 m quota is highlighted. The DEM of the Pontal do Boqueirão, 2008, as well as the DEMs referent to the years 2006 and 2007 were generated in the same shape.

Control

One of the techniques that can be used to evaluate the precision of the shoreline interpolation in the digital model consists of generating a few control profiles through traditional topographical leveling and comparing these profiles with the homologues subtracted the DEM, generated in the same period, according to Rocha *et al.* (in press, 2008), by which the shorelines reproduced through the methodology used here have a precision of about 0.5 m. However, in this study, due to the difficulty in maintaining a team in the research site for a long period of time, given that the beaches are relatively distant from academic study centers; this control technique was not applied in this experiment. Regarding the interpolator method, the beach faces were reproduced by the Radial Bases Function Interpolation Method, whose residues have indicated distortions of around 2 to 3 cm on the control points.

Shoreline monitoring

In order to visualize the changes that have occurred in the outline of the shoreline in the years 2006, 2007 and 2008, the DEMs of the monitored beach segments were overlapped. In this case, in order not to overload the figures, only the level curves that were representative of the shoreline DEMs' of each year were kept. Figure 4.5 and 4.6.

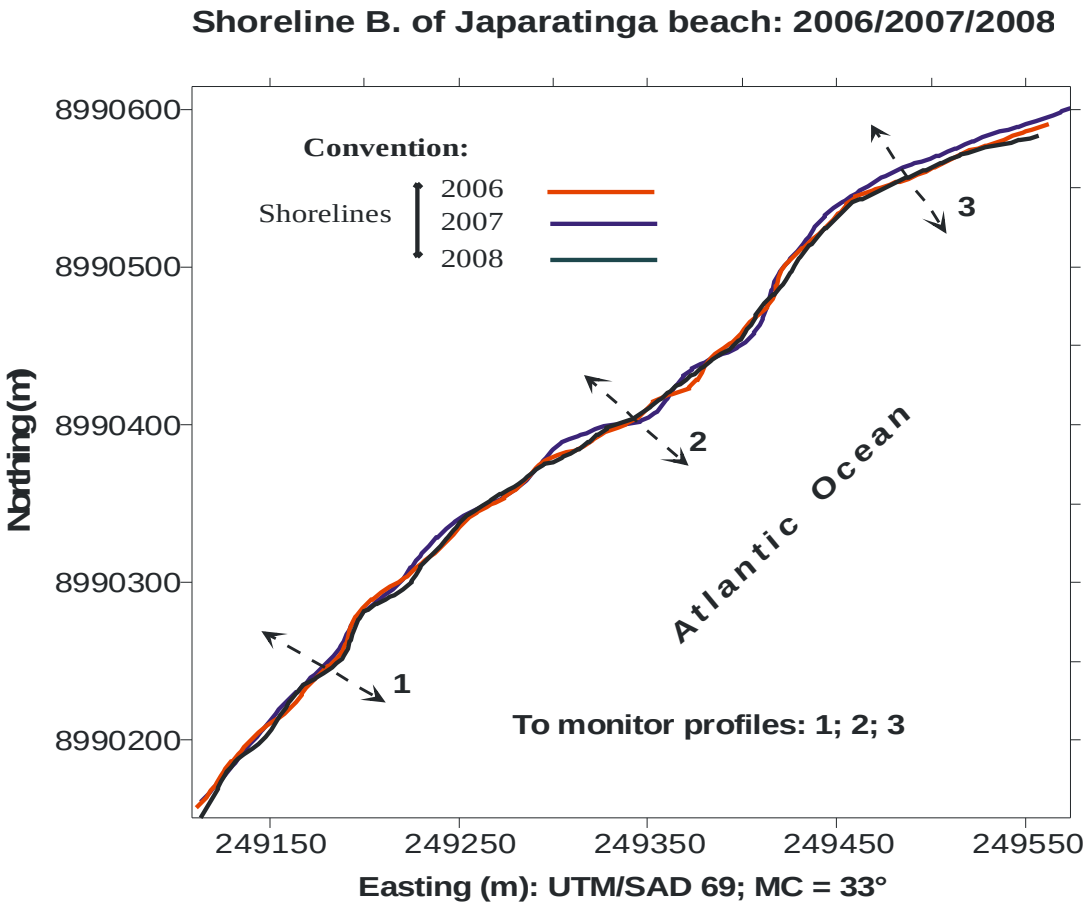

Figure 4.5. Shorelines of the Barreiras de Japaratinga beach, in the quota of 2.8 m, referent to the years 2006, 2007 and 2008. This figure shows also the positions of the sections 1, 2 and 3, which intercept the shorelines where the displacement were more representatives during the monitored years.

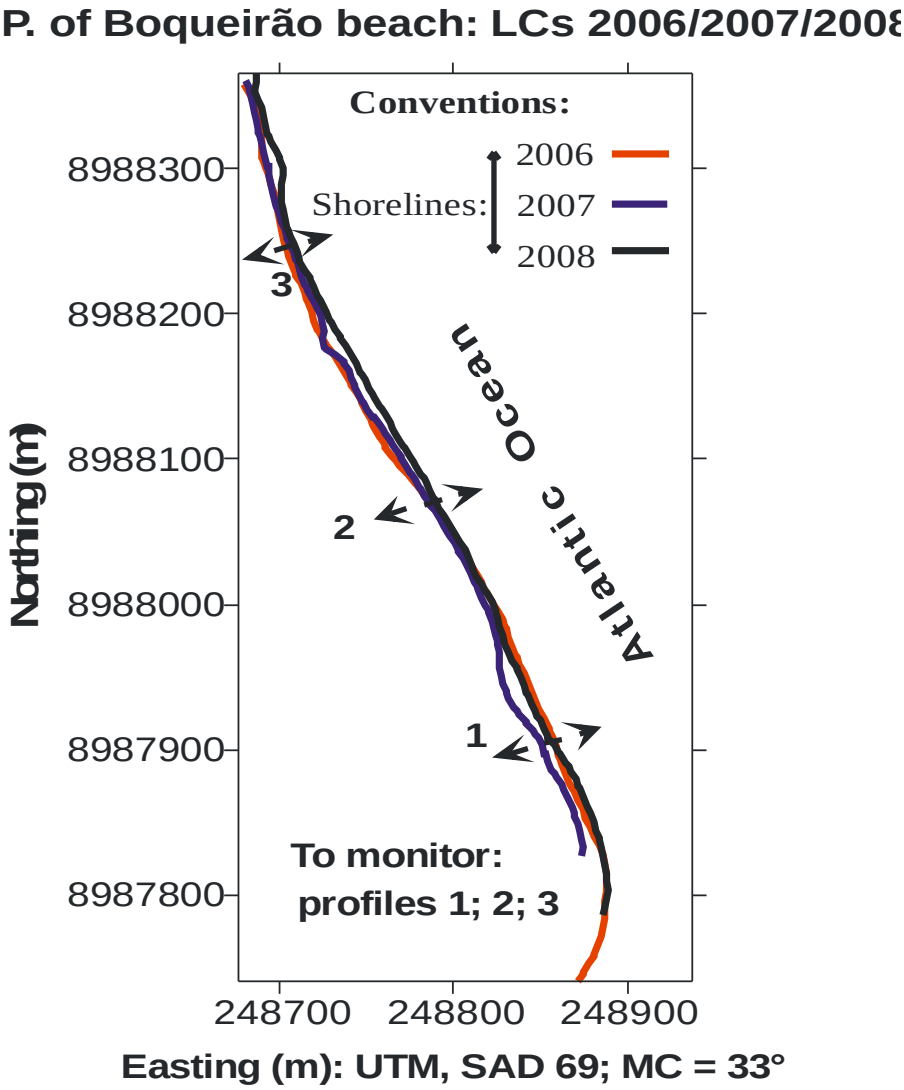

Figure 4.6. Shorelines of the Pontal do Boqueirão beach, in the quota of 2.8 m, referent to the years 2006, 2007 and 2008. This figure shows also the positions of the sections 1, 2 and 3, which intercept the shorelines where the displacement were more representatives during the monitored years.

The shoreline displacement during the monitored period can be integrally visualized, graphically observing the differences in the drawing of the respective line may also be analytically quantified for any point of interest. In order to do so, it is necessary to plot the coordinates of these points on the respective lines and calculate their displacements, through the trigonometric relation of the right-angled triangles, where the displacement of the shoreline corresponds to the hypotenuse and the variation of the N and E coordinates of the observed points correspond to the cathetus, as represented in equation 4.1. Figure 4.7. Table 4.3.

$$d = \sqrt{\left(\left(N_i - N_{(i-1)}\right)^2 + \left(E_i - E_{(i-1)}\right)^2\right)} \qquad (4.1)$$

$d \rightarrow shoreline - displacement$

$(N_i; N_{(i-1)}), (E_i; E_{(i-1)}) \rightarrow Before - and - after - point - coordinates$

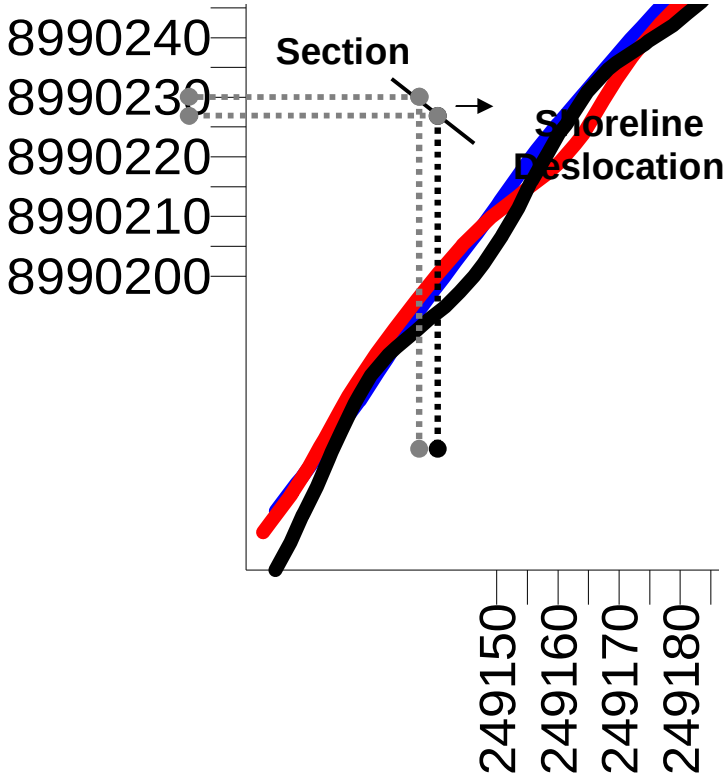

Figure 4.7. Illustrative detail of the interception of a section transversal to the shoreline, from where it is possible to extract the necessary information for the analytic calculation of the displacements on the interest points.

Shoreline coordinates (m) - Barreiras of Japaratinga beach				
Section	Years	Northing	Easting	displacement (m)
1	2006	8.990.247	249.177	0,00
	2007	8.990.248	249.178	1,41
	2008	8.990.246	249.181	-3,61
			regression	**-2,19**
2	2006	8.990.403	249.343	
	2007	8.990.403	249.344	-1,04
	2008	8.990.404	249.342	2,06
			progression	**1,02**
3	2006	8.990.555	249.488	
	2007	8.990.560	249.485	6,09
	2008	8.990.555	249.488	-6,09
			null	**0,00**

Shoreline coordinates (m) - Pontal of Boqueirão beach				
Section	Years	Northing	Easting	displacement (m)
1	2006	8.987.906	248.859	0,00
	2007	8.987.901	248.855	6,40
	2008	8.987.905	248.857	-4,47
			progression	**1,93**
2	2006	8.988.071	248.790	
	2007	8.988.070	248.790	1,08
	2008	8.988.071	248.791	-1,72
			regression	**-0,64**
3	2006	8.988.246	248.704	
	2007	8.988.247	248.706	-2,06
	2008	8.988.248	248.706	-1,04
			regression	**-3,10**

Table 4.3. Exhibit of the calculation of the displacements in sections 1, 2 and 3, based on the variation of the respective shoreline points coordinates, on the Barreiras de Japaratinga and Pontal do Boqueirão beaches, referent to the years 2006, 2007 and 2008.

Discussion

Among the many problems involved in the shoreline topic, its natural transformation dynamic is highlighted, which depends on multiple factors, such as the sea level variations, man-made activities, the waves and currents, the geomorphology of the beaches and the Earth crust's tectonic activities. To those, other problems of a more technical origin are added, such as the indicator adequacy for the shoreline and the correct usage of the reference *datum*, specially the vertical *datum*, as approached in Moore *et al.* (2006) and that can be minimized through the standardization of methods and techniques. Essentially, no tide repeats itself, and that is also true for waves, currents, beach face inclination and sediment texture. Therefore, although located

through high-precision techniques, it is necessary to treat the shoreline as a risk line, whose behavior suggests the observance of a safety margin, adequate to the vulnerability of the observed region.

The physical indicators of the confrontation line between land and sea are not long-lasting and migrate according to the new positions reached by the waterline (Webster, 1988; Sugguio, 1988). The shoreline indicator and the methodology for its location applied in this research were established by Rocha *et al.* (in press, 2008), based on the height level curve equivalent to the highest HWL registered in a time series, added of the *run-up* and it has already been used by these researchers in monitoring studies, such as Rocha *et al.* (in press, 2008). The elements that constitute this definition have also been used by several other researchers, among them Moore *et al.* (2006) and Ruggiero *et al.* (2003). Nevertheless, Rocha *et al.* (in press, 2008) have added in their definition a numerical characteristic by associating the shoreline to the level curve correspondent to a certain height reached by the waterline, attributing an unequivocal mathematical representation to the shoreline indicator, making it independent from residual marks left or not by the past tides and which, essentially, won't repeat themselves.

Regarding the vertical measurements, these can be affected by many error sources, among which the reference datum problems, GPS positioning errors and beach face modeling inconsistencies are stressed. The vertical measurements deviations relative to the datum are due mainly to the inconsistencies of the geoidal model. According to Rocha *et al.* (in press, 2008), this inconsistency is practically null after the execution of direct correlation of the GPS vertical measurements with the sea level reference on the observed site, through the height identity of a same point taken in both references.

The GPS measurement errors due to the degradation of the relative positions' quality have an additional component credited to the distance of the baseline, that is, the distance where the reference device is located. The construction of a concrete benchmark on the studied area has reduced the baseline of the beach profiles' cinematic positions, minimizing this error amount. Besides, this benchmark is located on a solid base, connected to one of the benchmarks of the SGD's network and it represents a reliable verification source for ground stability on the studied area.

As for the consistency of the beach face modeling, one must observe that the precision of the lines generated by an interpolator method depends on the density and configuration of the points

pertaining to the surface to be reproduced, which are made available for the interpolator software (Baptista *et al.*, 2008; Botelho, 2005; Franke, 1982; Souza, 2002).

The location of the shorelines using GPS tri-dimensional positioning consists of a methodological option in testing period. Although the GPS geographical positions and the reproduction of terrains based on topographical profiles have already been used for a long time, the technique applied in this study aggregates to the concepts and procedures already established a specific characterization associated to the usage. For instance, the shoreline concept used here corresponds to the limit of the interface between land and sea. However, a special address was attributed to it, with a mathematical representation, attached to the reduction level of the tides, by associating it with the level curve of a same height as the highest HWL of a time series, with the addition of the *run-up*. This definition gives greater consistency to the indicator and consequently to the shoreline monitoring results. However, since not only the sea amplitude but also the *run-up* varies from port to port, each study should examine the height of the level curve which best represents the shoreline in function of the amplitudes of the tides and wave frequency of the region, adding to it the margin deemed necessary and sufficient.

Regarding the planning of the GPS data gathering, two fundamental aspects must be observed: the extension and the architecture of the beach profiles. These two aspects need to take into consideration the greater or smaller interest in the beach amplitude to be reproduced and on the final precision of the interpolated product. Many times, there are obstructions in the post-beach zone, which do not allow the operator's circulation or block the reception of the GPS' satellite signals. The architecture of the profiles must limit the degree of freedom of the operator, to avoid an excessively long space between one profile and another and to assure that at least one point in the shoreline is contemplated in each profile.

Productivity evaluations have indicated a productivity of around 1.5 km/h, in beaches with free circulation and profiles of about 80.0 m of length. This productivity can be greater if the work aims exclusively the shoreline, because in that case the profiles could be shortened.

CONCLUSION

The general behavior of Barreiras de Japaratinga's shoreline indicated that this beach has remained itself stable during the monitored period, with predominantly seasonal dislocations of up to 6.0 m. Nonetheless, due to peculiar availability of sediments originated from the constant

slope slides of the road infrastructure that skirts the coast, the shoreline behavior in this beach segment needs to be monitored with greater frequency, in order to better asses the vulnerability degree of that beach.

The Japaratinga cliff is located close to the center of this beach segment and it adds to it a unique scenic beauty, which has been thoroughly destroyed by the stresses due to wave impact of the spring tides, winds and storms, and by the unceasing inscriptions daily carved by the users. The vulnerability evaluation of this beach will contribute in the search for more adequate solutions to avoid the destruction of something that nature took thousands of years to sculpt.

The predominance of the seasonality of the Barreiras de Japaratinga shoreline dislocations does not represent a stability guarantee. New observations will be necessary, in cycles that assure at least two measurements between eventual slides of the contour barriers, to observe what occurs with the sediments made available in these opportunities, before a new slide masks the analysis results. Currently, the eventual fallbacks of the shoreline are caused by the abundance of these sediments. Consequently the surrounding sedimentary barriers retrocede little by little.

Another factor to be observed during these short-span measurements is the shoreline behavior on the place where the bar owners have constructed a stone wall for the protection of their commercial establishments, to assess to what extent such edification might be transferring erosive pressure to other sectors. This wall is located on the far North of the monitored area and has approximately 90 m of length.

The shoreline dynamic of the Pontal do Boqueirão beach segment is influenced by the return of the currents and by the yield of sediments transported by the Manguaba river, whose mouth is approximately 1 km South of the monitored area. In this sector, the shoreline has displayed sporadic displacements of up to 12 m, with seasonal characteristics. In general, the shoreline of this beach segment has kept itself reasonably stable, except for a fallback of approximately 6.0 m, observed in an interval of around 60 m among the Center and North sectors. In this case, the detailing of new studies could include a research encompassing the direction and intensity of the currents, given the proximity between the mouths of the Manguaba River.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Departamento de Engenharia Cartográfica of the Universidade Federal de Pernambuco for the kindness in lending the GPS receivers used in this study; to the

CAPES Institute for financing this study through scholarships (1st author); and finally to the Federal University of Alagoas for the encouragement in the training of the 1st author, Prof. Rocha, C. P..

LITERATURA CITADA

Baptista, P.B., Bastos, L.C., Bernardes, C.A., Cunha, T.R. & Dias, J.A. (2008) - Aplicação de Metodologia de Monitorização GPS em Litorais Arenosos. Geração de Modelos de Elevação do Terreno. *Revista de Gestão Costeira Integrada,* 8(1): 9-23. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista8f1_1.pdf

Baptista, P.B., Bastos, L.C., Bernardes, C.A., Cunha, T.R. & Dias, J.A. (2007) - Monitoring Sandy Shore Morphologies by DGPS – A Pratical Tool to Generate Digital Elevation Models. *Journal of Coastal Research*, 24(6): 1516-1528. (doi: 10.2112/07-0861.1)

Botelho, M.F., Silva da, C.R., Schoeninger, E.R. & Centeno, J.A.S. (2005) - Comparação dos resultados de interpoladores "Vizinho mais próximo" e "Inverso de uma distância" no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 731-736, INPE, São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.20.47>

Esteves, L.S., Silva, A.R.P., Arejano, T.B., Pivel, M.A.G. & Vrajane, M.P. (2003) - Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI35:548-556.

Franke, R. (1982) - Scattered Data Interpolation: Test of Some methods, *Mathematic of Computations*, 33(157):181-200.

Graham, D., Sault, M. & Bailey, J. (2003) - National Ocean Service Shoreline – Past, Present, and Future. *Journal of Coastal Research,* SI38:14-32.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. (1998) - *Global Positioning System – Theory and Practice*. 4th Edition, Springer-Verlag, Inc. (ISBN: 3-211-82839).

Leatherman, S. P. (2003) - Shoreline change mapping and management along the U.S. East cost. *Journal of Coastal Research*, SI38:5-13.

Morton, R.A. & Speed, F.M. (1998) - Evaluation of shoreline and legal boundaries controlled by water levels on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, 14(4):1373-1384.

Muehe, D. (1996) - Geomorfologia costeira. *In:* Cunha S.B. da & Guerra A.J.T., *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Bertrand Brasil, pp. 191-238, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (ISBN: 8528605485).

Pajak, M.J. & Leatherman, S.P. (2002) - The high water line as shoreline indicator. *Journal of Coastal Research*, 18(2):329-337.

Parker, B.B. (2003) - The difficulties in measuring a consistently defined shoreline - the problem of vertical referencing. *Journal of Coastal Research,* SI38:44-56.

Rocha, C.P., Araújo, T.C.M. & Mendonça, F.J.B. (*in press,* 2008) - Methodology for Shoreline location using the 3D-GPS positioning: a case study at Sauaçui beach, Brazilian Northeast. *Journal of Coastal Research, in press,* 2008. ISSN 0749-0208. DOI 10.2112/08-1108.1.

Rocha, C.P.; Araújo, T.C.M. e Mendonça, F.J.B. (2008) - Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo de caso na praia de Boa Viagem, Recife/PE, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8(2):127-137. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/RGCI-139_Rocha.pdf

Rocha, C.P., 2000. Determinação e Análise de Azimutes por Astronomia Clássica e Pelo Sistema de Posicionamento Global. EESC/USP, São Carlos/SP/Brazil. Master's thesis, 212p.

Ruggiero, P., Kaminsky, M. G. & Gelfenbaum, G. (2003) - Linking proxy-based and *Datum*-based shorelines on a high-energy coastline: implications for shoreline change analyses. *Journal of Coastal Research*, SI38:57-82.

Sugguio, K., Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.M. & Azevedo, A.E.G. (1985) - Flutuações do Nível do Mar Durante o Quaternário Superior ao Longo do Litoral Brasileiro e suas Implicações na Sedimentação Costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15:272-286.

Torge, W. (2001) - *Geodesy*. Walter de Gruyter, 3rd edition, 2nd edition, 416p., Berlim, Alemanha. (ISBN: 311070728, 9783111017072).

Vanicek, P. & Krakiwsky, E.J. (1986) - *Geodesy, The Concepts*. Elsevier, Canada, 714p. (ISBN: 10-0444877754).

Veronez, M. R., 1998. Proposta de Parâmetros de Transformação entre os Sistemas WGS-84 e o SAD-69 para a região de São Carlos. EESC/USP, São Carlos/SP/Brazil. Master's thesis, 113p.

Webster (1988) - *The Webster's Ninth New Collegiate Dictionary*. 1564p., Merrian – Webster, Springfield, MA, USA.

Zhang, K., Huang, W., Douglas, B.C. & Leatherman, S.P. (2002) - Shoreline positions variability and long-term trend analysis. *Shore & Beach*, 70(2):31-35.

Capítulo 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados e Discussão

Os experimentos realizados nessa tese produziram os resultados que aqui serão mostrados de maneira resumida, pois já foram apresentados com mais detalhes nos capítulos 2, 3 e 4. O capítulo 2 constitui-se na essência da tese e nele se demonstra que é possível determinar o posicionamento geográfico de linhas de costa com aplicação de tecnologia GNSS, usando técnicas de posicionamento tridimensional pelo GPS, conforme esquema cartográfico mostrado na figura 2.7. Esse capítulo traz informações pertinentes ao relevo da praia de Sauaçui, onde se destaca o traçado da linha de costa, com base nas alturas de maré da região registradas pela DHN nos últimos 20 anos (máxima de 2,7 m) e no *run-up* das ondas que incidem sobre aquela praia em período de mar agitado (0,23 m), bem como informações complementares relativas aos desvios de medidas, decorrentes da metodologia e do processo de medição.

Os capítulos 3 e 4 consistiram em aplicações da técnica de medição proposta na tese, além de verificações complementares referentes à precisão dos resultados.

O capítulo 3 refere-se ao monitoramento da linha de costa na praia de Sauaçui durante três anos consecutivos, aplicando a mesma metodologia e gerou resultados que podem ser considerados consistentes do ponto de vista dos testes de determinação dos posicionamentos através de técnicas pela topografia convencional. Esse estudo culminou com a comparação da posição geográfica da linha de costa da praia de Sauaçui, através da sobreposição dos estudos efetuados nos anos 2006, 2007 e 2008. Algumas seções de controle indicaram deslocamentos de natureza sazonal com registros de progradações e retrogradações com taxa de 2,9 m/ano, conforme foi mostrado na tabela 3.3.

O capítulo 4 apresentou os resultados do monitoramento de duas praias do Município de Japaratinga: Barreiras de Japaratinga e Pontal do Boqueirão. Os estudos desenvolvidos nesse capítulo também são referentes ao período 2006 – 2008, com procedimentos e técnicas similares aos procedimentos e técnicas que foram aplicados no capítulo 3. Os resultados desses estudos também indicaram deslocamentos sazonais de progradação e retrogradação. Na praia de Barreiras de japaratinga foram registradas taxas em torno de 1,6 m/ano e na praia de Pontal de Boqueirão, foram registradas taxas da ordem de 1,1 m/ano, conforme consta da tabela 4.3.

As referências históricas sobre a evolução costeira são reconstituídas com base em questionários de pesquisa e datações de perfis geológicos e em muitos casos não se leva em conta

os possíveis deslocamentos da crosta terrestre causados pela acomodação de placas tectônicas. De acordo com Morner (1996), os registros de medida de maré não são referidos diretamente ao nível estático do mar regional e, freqüentemente, estão contaminadas pelos efeitos de subsidências locais. Portanto, é necessário investigar cada situação. No caso do Brasil, as estações maregráficas permanentes ao longo da costa brasileira, começaram a surgir no período 1905-1939. Isto significa que as informações sobre localização de linha de costa anteriores a esse período são baseadas em indícios físicos, datações ou questionários dirigidos aos moradores das regiões investigada.

O conceito de linha de costa usado nas pesquisas desenvolvidas nessa tese levou em conta o confronto direto entre a massa d'água e o continente (Webster, 1988), agregando-lhe uma característica específica ao correlacionar esse confronto com o estágio da maré, como já vem sendo aplicado em várias pesquisas, como por exemplo, Mendonça *et al.* (2002), Graham *et al.* (2003), Moore *et al.* (2006), Pajak and Leatherman (2002), Parker (2003), Ruggiero *et al.* (2003). Esses autores usaram diferentes estágios de maré (baixa, média e alta) para caracterizar a linha de costa, de acordo com a finalidade da pesquisa.

A convenção de Genebra sobre os direitos do mar, definiu os limites máximos de soberania dos estados com base na linha de baixa-mar, que é compreendida como a linha indicada nas cartas náuticas de grandes escalas. Considerando a dinâmica das marés, a linha de baixa-mar ocupa um lugar no espaço que quase sempre está submerso. Portanto, como a sua referência compreende a média de uma série de baixa-mares, é preciso que esse período seja definido, pois a posição geográfica dessa linha só poderia ser observada sob condições de maré abaixo dessa média. De qualquer forma, esse não é um critério adequado para as questões referentes ao gerenciamento dos problemas costeiros, o qual está mais especificamente voltado para os danos e transformações que ocorrem na faixa costeira com alternância entre seco e molhado, densamente habitada por muitas espécies marinhas, durante alguma fase da sua vida. A linha de baixa-mar não engloba a sobre elevação devida ao espraio das ondas (*run-up*), e nem poderia, por tratar-se de uma indicação do mais baixo nível do mar. Portanto, essa linha não serve para resguardar a faixa costeira que deve ser conservada.

No que diz respeito aos posicionamentos geográficos pelo GPS e a reprodução de relevos baseada em perfis topográficos, estes já vinham sendo utilizados de algum tempo. Entretanto, a tecnologia usada nesta tese vai além da simples aplicabilidade da ferramenta GPS quando agrega

aos conceitos e procedimentos já consagrados, uma caracterização específica, associada ao uso que se destina. Por exemplo, o conceito de linha de costa aqui abordado permanece como a interface do mar com o continente, no limite efetivo da atividade marinha (Ruggiero *et al.*, 2003; Sugguio *et al.*, 1985; Webster, 1998). Contudo, nesse estudo foi atribuído a esse indicador um endereço espacial, ao representá-la pela curva de nível de altura igual a mais elevada HWL de uma série temporal, acrescida do *run-up*. Dessa forma a linha de costa passa a ter uma representação matemática inequívoca, vinculada ao referencial de nível das marés, dissociando-se das marcas residuais deixadas ou não pelas marés passadas, e que certamente a rigor não se repetirão.

Além disso, o endereçamento adequado para um indicador de linha de costa precisa ser espacial, já que os movimentos das marés não prescindem da escala vertical**.** Este é um dos principais fatores da intensa dinâmica da linha de confronto entre o mar e o continente, cuja altura varia não só com as amplitudes das marés como também com o *run-up*, de porto a porto, e os seus efeitos são propagados na direção horizontal com diferentes intensidades, de acordo com a declividade da face de praia. Por isso, cabe aos pesquisadores de cada região verificar qual a curva de nível que melhor representará a linha de costa objeto de estudo, acrescendo-lhe uma margem que julgar suficiente de acordo com a cultura e as necessidades do lugar e os riscos.

As pesquisas desenvolvidas nesta tese tomaram por indicador de linha de costa o mais elevado estágio da mais alta maré dos últimos 20 anos registrada pelo marégrafo mais próximo da respectiva área de estudo (porto da cidade de Maceió, Alagoas, no estudo de caso Sauaçui e porto de Suape, Pernambuco, nos estudos de caso de Japaratinga), acrescida do *run-up* das ondas, cujos valores podem diferir em virtude das características físicas de cada praia, que propiciará diferentes intensidades de dissipação da energia das ondas. As informações referentes às alturas das mais elevadas marés dessa série temporal foram pesquisadas nos registros da DHN e o *run-up* das ondas foram estimados com base em observações diretas, conforme foi descrito no capítulo 2. De acordo com Moore *et al.* (2006), o *run-up* corresponde à sobre elevação alcançada pelo espraio da onda em relação ao nível estático do mar. Nesta tese, o nível estático do mar foi observado através do nível do lençol salgado em um poço escavado à beira mar, em lugar com pouca ou nenhuma influência da sobre pressão do lençol de água doce advinda do continente, de modo que as medidas do *run-up* foram efetuadas imediatamente após o espraio evitando o uso de métodos empíricos que de acordo com Nielson e Hanslow (1991) requerem calibragens

específicas para cada perfil de praia, além do conhecimento das características físicas dos sedimentos, que não são objeto desse estudo.

A metodologia para localização de linhas de costa usada nesta tese independe de eventuais alterações na altura adotada para o indicador de linha de costa, podendo ser usada para localizar quaisquer outras linhas compreendidas entre a linha de costa e a linha de baixa-mar porque ela reproduz a morfologia costeira.

A implantação de marcos de concreto nas áreas de estudo teve por finalidade disponibilizar uma referência geográfica confiável, para apoio local e não sofreram danos durante os três anos do monitoramento. Após georreferenciados, esses marcos passaram a servir de referência para o levantamento no interior das respectivas áreas de estudo, proporcionando linhas de base curtas, sendo este um fator de grande contribuição para melhorar a precisão das coordenadas geográficas geradas através de técnicas de posicionamento cinemático pelo GPS.

Os modelos de elevação digital das praias pesquisadas foram reproduzidos a partir das coordenadas tridimensionais geradas através de posicionamentos geográficos pelo GPS, cujas alturas são referidas à superfície elipsoidal. Por isso, faz-se necessário definir qual o elipsóide de referência das coordenadas, uma vez que estas são associadas a um e só um modelo de elipsóide. Para que o relevo reproduzido simule a face de praia, as alturas dos perfis de praia (elipsoidais) precisaram ser reduzidas para o referencial de nível das marés. Nesse caso, cada modelo de elipsóide tomado por referência, implicará em uma diferente constante de redução das alturas elipsoidais para o nível de referência da maré. Essa operação requer o conhecimento da altura da maré e da altura elipsoidal, nos respectivos referenciais, em um mesmo ponto e consistiu em estabelecer uma identidade entre essas alturas. Na prática, esse ponto corresponde a um ponto qualquer da linha d´água, em local sem ondas, já que essa altura está associada ao estágio da maré e pode ser observada na curva de maré do dia. O capitulo 2 mostrou o esquema de correlação entre esses referenciais verticais, o qual dispensa o conhecimento das alturas das antenas do GPS, bastando apenas que a altura da antena móvel permaneça constante em relação ao solo. Na prática, isto significa a eliminação de eventuais erros sistemáticos de medida da altura das antenas, que foram estimados na ordem de 10 a 15 cm tanto na componente horizontal quanto na componente vertical.

O automatismo da verticalidade da antena proporcionado pelo sistema de apoio tri-articulado que equipou o veículo transportador da antena móvel, serviu para eliminar uma segunda fonte de

erro sistemático, o erro de verticalidade da antena GPS, que é inevitável quando esta é transportada manualmente.

Segundo Moore *et al.* (2006), as divergências nas medidas de linhas de costa são causadas, principalmente, pela diferente escolha do indicador e pelas incongruências do referencial vertical escolhido. O grande problema dos indicadores físicos, é que estes mudam de endereço de acordo com as marés e suas marcas não são duradouras. O indicador de linha de costa usado nessa tese tem representação matemática espacial sendo, portanto, inequívoco. No caso dos referencias verticais, é preciso levar em conta que o *datum* ortométrico (geóide) não está diretamente associado ao nível do mar, por ser um modelo teórico gerado com base nos pontos de igual potencial gravimétrico (Torge, 2001; Vanicek e Krakiwsky, 1986). No Brasil, este *datum* é materializado pela Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), que apesar dos esforços do IBGE, ainda não está suficientemente densa, comprometendo a correlação entre esse *datum* e o nível do mar ao longo de um litoral.

Além disso, as alturas geradas pelo GPS são referidas à superfície elipsoidal e apesar de precisas, não podem ser diretamente comparadas com as altitudes ortométricas ou geoidais, pois pertencem a sistemas altimétricos diferentes. No Brasil, o mapa geoidal ou os programas interpoladores que geram informações referentes às ondulações geoidais como, por exemplo, o MapGeo, representam uma fonte de conversão entre os dois sistemas de altitude. Entretanto, essas fontes de informações contêm imprecisões da ordem de 2 m, aos quais estão associados deslocamentos horizontais de 20 m nas praias com declividade de 10%.

Entre os *data* verticais, o *datum* de maré, por ser referência das alturas de marés, é o mais adequado para referenciar linhas de costa, uma vez que registra as variações reais do nível do mar, ainda que baseado em um nível de redução apropriado para manter-se sempre abaixo das mais baixas marés, de modo a refletir garantias de navegabilidade com base nos pontos cotados das cartas náuticas. Se o relevo da praia estiver associado a esse *datum*, ele refletirá a livre movimentação das marés em tempo real e demonstrará quaisquer movimentações da linha d´água. Esse foi o principal motivo pelo qual esse referencial foi adotado.

Conforme foi mostrado no capítulo 2, a redução das alturas do GPS para o referencial vertical de maré é suscetível de erros devido ao não paralelismo entre a linha d´água e a superfície elipsoidal, bem como dos erros provenientes de eventuais diferenças entre o raio de curvatura do elipsóide tomado por referência e o raio de curvatura da linha d´água (aproximadamente

equivalente ao raio de curvatura do geóide). Entretanto, a grandeza desses erros foi da ordem de poucos milímetros, sendo assimiláveis para os propósitos de localização de linhas de costa.

O controle da precisão com que as linhas de costa foram localizadas nos experimentos dessa tese foi efetuado pela comparação entre as medidas de alguns perfis, reproduzido através de nivelamento geométrico topográfico convencional com os perfis equivalentes, reconstituídos com base nas curvas de nível do modelo gerado por interpolação e consistiu em comparar a posição de três pontos da linha de costa, identificados nos perfis de uma mesma seção, caso a caso, por equivalência de altura, conforme foi mostrado no capítulo 3. Aquele controle indicou diferenças da ordem de 60 cm entre os perfis reproduzidos pelas duas técnicas. Entretanto, os perfis gerados por nivelamento geométrico podem conter erros verticais da ordem de 5 cm por conta da incerteza na altura da linha d'água, conforme apontaram algumas medições de altura da maré realizadas na praia de Sauaçui. Esses erros podem ser minimizados, utilizando-se as alturas de marés corrigidas, em lugar das marés previstas e efetuando-se essas medições durante o estopo da maré, quando sua variação de altura é mínima. Esses cuidados serão importantes para localizar linhas de costa com precisão sub-métrica.

A técnica utilizada nessa tese não pode ser utilizada em locais com grandes obstruções de horizonte acima dos 15°, e/ou obstruções da face de praia que não permita a circulação da antena receptora dos sinais do GPS.

Capítulo 6

CONCLUSÕES

Conclusões

O indicador de linha de costa caracterizado pela linha de nível de altura equivalente a mais elevada HWL de uma série temporal, adicionada da sobre elevação das ondas (*run-up*), pode ser usado como padrão para estudos sobre linhas de costa, uma vez que ele tem representação matemática e não é afetado por eventuais alterações naturais ou antrópicas da face de praia. Além disso, como ele é referido ao nível de redução das marés, reflete a posição da linha d´água no estágio da maré tomado por referência, dispensando o uso de outros *data* verticais de difícil correlação.

O artifício utilizado para reduzir as alturas geradas pelo GPS para o nível de redução das marés, correlaciona os referenciais verticais de maré e elipsoidal de forma simples e direta, evitando o uso das cartas de ondulações geoidais, geralmente usadas para efetuar a correlação entre medidas ortométricas e geométricas, ou seja, geoidais e elipsoidais, sendo que o geóide corresponde a uma superfície modelada com base no potencial gravitacional médio da superfície dos mares e oceanos. Portanto, devido ao continuado exercício de movimentação das marés, a superfície geoidal apenas momentaneamente, coincidiria com a superfície física do mar, nos lugares em que a superfície do mar oscilar em torno da superfície geoidal. Desta forma, ao reduzir as alturas do GPS diretamente para o referencial de nível das marés, contorna-se um dos mais sérios problemas concernente ao uso do referencial vertical para localização de indicadores de linha de costa. Como essa operação consiste em uma simples identidade de cotas, os resultados são isentos de interpretações pessoais suscetíveis de engano, como ocorre com os produtos gerados através da interpretação de imagens.

As alturas das curvas de nível que constituem os DEM gerados através de métodos interpoladores são referidas ao *datum* de maré e servem para simular o deslocamento da linha d´água durante o movimento das marés. Como geralmente ocorre em quaisquer superfícies físicas modeladas pela natureza, as curvas de nível representativas de uma face de praia, invariavelmente, não são horizontalmente eqüidistantes, denunciando diferentes gradientes de inclinação, que implicam em diferentes deslocamentos horizontais da linha d´água. Este é um fato que precisa ser levado em consideração para a correta demarcação das áreas de conservação dos ambientes costeiros, principalmente nas áreas de baixo gradiente de declividade, onde pequenas elevações do nível do mar acarretam grandes deslocamentos horizontais da linha de costa.

Os erros decorrentes do processo de medição, dos processamentos de dados e nas modelagens por interpolação, precisam ser tratados adequadamente, para garantir a obtenção de resultados confiáveis.

Entre os principais fatores que podem influir no desempenho da metodologia proposta, destaca-se a extensão dos perfis de praia e a eventual presença de obstáculos nas imediações da linha de costa. O primeiro concerne ao prolongamento dos perfis, que precisam ultrapassar os limites da zona de espraio, de modo a garantir que a linha de costa seja contemplada. O segundo diz respeito às atividades antrópicas, que muitas vezes impedem a circulação do operador ou ainda, da presença de edificações ou densa arborização nas proximidades da linha de costa, que venham a prejudicar a recepção dos sinais do GPS.

Ao gerar os perfis, é necessário que o deslocamento da antena do receptor do GPS sobre a face de praia contemple a linha de costa, cujo indicativo, na prática, é a linha de resíduos deixada pelo espraio das ondas. Este indicativo deve ser ultrapassado durante o deslocamento da antena do receptor em ziguezague, para garantir que cada perfil contemple um ponto de altura superior a altura definida para linha de costa.

Os resultados desses estudos foram especificados nos respectivos capítulos que compõem a tese. O capítulo 1 teve por principal objetivo mostrar a aplicabilidade da técnica de posicionamento tridimensional pelo GPS nos estudos de linhas de costa e resultou em um mapa, no qual a linha de costa da praia de Sauaçui está representada, ponto a ponto, pelas coordenadas do sistema plano retangular UTM. O capítulo 3 e o capítulo 4 ratificam essa técnica e usam a sobreposição das linhas de costa geradas nos anos de 2006, 2007 e 2008 para avaliar seus eventuais deslocamentos, cujas variações máximas atingiram cerca de 8,0 m. Entretanto, durante todo o período do monitoramento, essas variações mostraram tendências sazonais, com saldos residuais de regressão ou progressão, conforme análise apresentada nos respectivos capítulos.

Saliente-se que durante o período de 20 anos de coleta das informações das alturas de marés, não foram observadas tendências de elevações do nível do mar e que nesse período, a mais elevada maré foi registrada no ano de 2001, não se repetindo até a presente data. Portanto, as alterações de traçado da linha de costa que foram registradas nesses estudos, seriam devidas às alterações geomorfológicas da face de praia ou subsidências do solo na região dos estudos. Contudo, considerando a grande estabilidade das alturas das marés da região, a aparente estabilidade dos marcos implantados nas respectivas praias e as pequenas distâncias em que foram registradas

inversões de deslocamento das linhas de costa, pode-se concluir que esses deslocamentos devem ser creditados à morfodinâmica dessas praias. Entretanto, é possível avaliar eventuais subsidências no relevo, a partir dos marcos de concreto nas respectivas praias, bastando implantar mais um marco de apoio nas proximidades do local de estudo para formar uma pequena rede triangular passiva de ajustamento, tendo por referência o respectivo marco do IBGE, especificados nos capítulos 2 e 4.

A metodologia proposta nessa tese mostrou-se prática e consistente. Entretanto, como ocorre em qualquer processo de mensuração, necessita cuidados específicos como escolher a técnica de localização adequada aos posicionamentos dos marcos de apoio e dos perfis de praia, analisar e refinar os dados de processamento do GPS, ajustar as informações referentes às alturas de marés, selecionar o método interpolador mais adequado para os dados disponíveis para alimentação do programa e, principalmente, nas aplicações de monitoramento, repetir os experimentos em períodos sazonais, tendo em vista uma maior similaridade de condições climáticas, que por motivos de indisponibilidade de equipamentos, não foi possível seguir nessa pesquisa. Esses cuidados são importantes para melhorar a consistência dos resultados.

Finalmente é recomendável que os perfis de praia sejam prolongados na medida do possível, adentrando ao continente, para garantir que esses perfis contemplem pontos de cota superior à cota correspondente a altura da linha de costa.

Capítulo 7

BIBLIOGRAFIA

Bibliografia

Baptista, P.B, Bastos, L.C., Bernardes, C.A., Cunha, T.R. & Dias, J.A. (2008) - Aplicação de Metodologia de Monitorização GPS em Litorais Arenosos. Geração de Modelos de Elevação do Terreno. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8(1):9-23. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista8f1_1.pdf

Baptista, P.B, Bastos, L.C., Bernardes, C.A., Cunha, T.R. & Dias, J.A. (2007) - Monitoring Sandy Shore Morphologies by DGPS – A Pratical Tool to Generate Digital Elevation Models. *Journal of Coastal Research*, 24(6):1516-1528. (doi: 10.2112/07-0861.1)

Bonavides, P., 2006. Ciência Política. 13 ed. São Paulo: Malheiros editores. p. 95/96. *Brasil, Leis, Decretos, Regulamentos, etc. Diário Oficial da União (DOU), de 06.09.1946, Rio de Janeiro*, DF, 1946.

Botelho, M.F., Silva da, C.R., Schoeninger, E.R. & Centeno, J.A.S. (2005) - Comparação dos resultados de interpoladores "Vizinho mais próximo" e "Inverso de uma distância" no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 731-736, INPE, São José dos Campos, SP, Brasil. Disponível em: <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.20.47>

Da Silva, J. A., 2003. Direito Constitucional. 5. ed. São Paulo, Malheiros, p. 153.

Da Silva, I.; Segantine, P.C.L.; Erwes, H, 2002. Introdução a GEOMÁTICA, EESC/USP, São Paulo-S.P.

Dillenburg, S. R., 2004. Variabilidade Espaço Temporal dos Deslocamentos da Linha de Costa no Rio Grande do Sul. Research Project. UFRJ, Instituto de Geociências. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica.

DHN, Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2005 (Brasil); Tábua de marés, Home-page http://www.dhn.mar.mil.br/, accessed in July/2006.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2007. Home-page, acessada em Janeiro/2007: http://embrapa.br/solos,

Espartel, L. (1982) - *Curso de Topografia.* 8ª. edição, 655p., Editora Globo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Esteves, L.S., Silva, A.R.P., Arejano, T.B., Pivel, M.A.G. & Vrajane, M.P. (2003) - Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI35:548-556.

European Commission. Living with coastal Erosion in Europe. Sediment and space for sustainability. Home-page http://www.eurosion.org., accessed in May/2007.

Franke, R. (1982) - Scattered Data Interpolation: Test of Some methods, *Mathematic of Computations*, 33(157):181-200.

Graham, D., Sault, M. & Bailey, J. (2003) - National Ocean Service Shoreline – Past, Present, and Future. *Journal of Coastal Research*, SI38:14-32.

Hoefel, 1998. Morfodinâmica de praias arenosas: uma revisão bibliográfica. Univali, Itajaí-PR, 93p. 1998.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. (1998) - *Global Positioning System – Theory and Practice*. 4th Edition, Springer-Verlag, Inc. (ISBN: 3-211-82839).

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, 2005. Home-page http://www.ibama.gov.br/cepeme/paginas/pg.php?id_arq=43 , acessada em agosto/2005.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006. Home-page , acessada em novembro/2006: http://mapas.ibge.gov.br/

Leatherman, S. P. (2003) - Shoreline change mapping and management along the U.S. East cost. *Journal of Coastal Research*, SI38:5-13.

Leite, E.P.F., Silva, J.S. & Gomes, G.S. (**2007**) - Obtenção de Modelo Numérico do Terreno de Alta Resolução Utilizando o Interpolador Spline com Tensão Regularizada. *II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica*. João Pessoa, PB, Brasil. Disponível em http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080922_103856_GEOM-012.pdf

Lima, O. P. de., 2002. Localização Geodésica da Linha de Preamar Média de 1831-LPM/1831, com vistas à demarcação dos terrenos de marinha e seus acrescidos, xix, 249p, doctorate thesis in Civil Engineering, másters degree program in Civil Engineering of UFSC, Florianópolis (SC).

Marone, E.; Camargo, R., 2001. The Fate of New Sea Level Station along the Brazilian Coast.

Martim, L.; Flexor, J. M.; Blitzkow, D.; Suguio, K., 1985. Geoid Change Indications Along Brazilian Coast During the Last 7000 Years. In: Proceeding of the Fifth International Coral Congress, 1985, Tahiti. V. 3. p. 85-90.

Mascarenhas, J. C.; Beltrão, B. A. e Junior, L. C. S., 2005. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea: Diagnóstico do município de Japaratinga.

Meirelles, H. L., 2006. Direito Administrativo Brasileiro. 32 ed. São Paulo: Malheiros. p. 549.

Mello, C. D. de A., 2004. Curso de Direito Institucional Público. V. 2. 15. ed. Rio de Janeiro: Renovar. p. 1182.

Mendonça, F. J.; Medeiros, C.; Santos, A. A. Monitoramento da Evolução Geomorfológica da coroa do Avião, PE-Brasil. In: XLI Congresso Brasileiro de Geologia, 2002, João Pessoa-PB, 2002.

Mesquita, A.R. de; Blitzkow, D. ; França, A.C.S.; Trabanco, J.A.L.; Correia, M.A.; Monteiro, M.Q., 2003. The Brazilian "Terrenos de Marinha" And the Relative Sea Level of the Year 1831 in "Praia do Pulso". Instituto Oceanográfico da USP. Brasil.

Milbert, D. G., 2002. V*Datum* Transformation tool (New version 1.05). The Geocommunitiy Spatial News, http://spatialnews.geocommu.com/features/vdatum/.

Moore, L.J., Ruggiero, P. & List, J.H. (2006) - Comparing Mean High Water and High Water Line shorelines: Proxy *Datum* Offsets be Incorporate into shoreline Change Analyses. *Journal of Coastal Research,* 22(4):894-905. (doi: 10.2112/04-0401-1).

Morner, N.-A., 1996. Rapid Changes in Coastal Sea Level. *Journal of Coastal Research*, V. 12, p. 797-800.

Morton, R.A. & Speed, F.M. (1998) - Evaluation of shoreline and legal boundaries controlled by water levels on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, 14(4):1373-1384.

Muehe, D. (1996) - Geomorfologia costeira. *In:* Cunha S.B. da & Guerra A.J.T., *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Bertrand Brasil, pp. 191-238, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (ISBN: 8528605485).

Nielson, P. and Hanslow, D.J., 1991. Wave *Runup* Distributions on Natural Beaches. *Journal of Coastal Research*, 7, 1139-1152.

Oliveira, C., 1983. Dicionário Cartográfico. 2ª Edição. Rio de Janeiro, IBGE.

Pajak, M.J. & Leatherman, S.P. (2002) - The high water line as shoreline indicator. *Journal of Coastal Research*, 18(2):329-337.

Parker, B.B. (2003) - The difficulties in measuring a consistently defined shoreline - the problem of vertical referencing. *Journal of Coastal Research,* SI38:44-56.

Person, A., 1998. How Do We Unders Tand the Coriolis Force? Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 79, n° 7.

Picarelli, S.S & Harari, J. & Camargo, R., 2002. Modeling the Tidal Circulation in Cananéia – Iguape Estuary and Adjacent Costal Area (São Paulo, Brazil). Instituto Oceanográfico. USP. Brasil.

Ramos, D., 1998. Geodésia na prática. 1ª Edição. Araraquara - SP, Mdata

Rezek, J. F., 2002. Direito Institucional Público. I. 9. ed. São Paulo: Saraiva. p. 300/301.

Ribeiro, G. P.; Rocha, C. H. de O.; Figueiredo Jr., A. G.; Silva, C. G.; Silva, S. H. F. da; Moreira, P. S. da C.; Guimarães, M. De S. D.; Pereira, A. P.; Almeida, A. G. de; Pinna, B. G.; Souza, C. F. de, Silva, C.; Santos, R. A. and Vasconcelos, S. C. de, 2004. *Análise Espaço-Temporal no Suporte à Avaliação do Processo de Erosão Costeira em Atafona, São João da Barra-RJ. Revista Brasileira Cartográfica n° 56/02 de 2004. Rio de Janeiro-RJ.*

Rocha, C.P.; Araújo, T.C.M. e Mendonça, F.J.B. (2009) - Aplicação de metodologia alternativa para localizar e monitorar linhas de costa usando técnicas de posicionamento pelo GNSS: Um estudo de caso na praia de Sauaçui, Nordeste do Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, no prelo.

Rocha, C.P., Araújo, T.C.M. & Mendonça, F.J.B. (*in press*, 2008) - Methodology for Shoreline location using the 3D-GPS positioning: a case study at Sauaçui beach, Brazilian Northeast. *Journal of Coastal Research, in press*, 2008. ISSN 0749-0208. DOI 10.2112/08-1108.1.

Rocha, C.P.; Araújo, T.C.M. e Mendonça, F.J.B. (2008) - Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo de caso na praia de Boa Viagem, Recife/PE, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8(2):127-137. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/RGCI-139_Rocha.pdf

Rocha, C.P., 2000. Determinação e Análise de Azimutes por Astronomia Clássica e Pelo Sistema de Posicionamento Global. EESC/USP, São Carlos/SP/Brazil. Másters thesis, 212p.

Rodrigues, W., 2002. Afinal o que muda nos terrenos de marinha ? http://www.walterrodrigues.adv.br/mostra_artigos.php?titulo=oquemuda, acessado em 08.12.2008.

Rollnic, M.; Medeiros, C.. Circulation of the coastal waters off Boa Viagem, Piedade e Candeias beaches. Pernambuco, Brazil. Journal of Coastal Research, New York. v. 39, p. 648-650, 2006.

Romão, V.M.C., 1982. Método Doppler de Posicionamento por Satélite NNSS. UFP, Curitiba/PR/Brazil. Másters thesis, 126p.

Ross, J.L.S. (2007) - *Geomorfologia, Ambiente e Planejamento*. 86p., Ed. Contexto, São Paulo, SP, Brasil. , 1ª edição. (ISBN: 8585134828).

Ruggiero, P.; Komar, P. D.; Marra, J. J.; McDougal, W. G., and Beach, R. A., 2001. Wave runup, extreme water level and the erosion of properties backing Beaches. *Journal of Coastal Research*, 17(2), 407-419.

Ruggiero, P., Kaminsky, M. G. & Gelfenbaum, G. (2003) - Linking proxy-based and *Datum*-based shorelines on a high-energy coastline: implications for shoreline change analyses. *Journal of Coastal Research*, SI38:57-82.

Schofield, W. (1993) - *Engineering Surveying*. *Theory and examination problems for students*. 4rd. edition, 554p., Butterworth – Heinemann, Oxford, Reino Unido. (ISBN: 0-7506-0511-1).

Segantine, P.C.L. (2005) - *Sistema de Posicionamento Global - GPS*. 2ª edição, 326p., EESC/USP, São Carlos, SP, Brasil.

Seelig, W. N.; Ahrens, J. P., 1996. Wave *Run-up*. Home-page, acessada em 18/03/2008: http://homepages.cae.wisc.edu/~chinwu/GLE401/web/Mike/Wave%20*run-up*.htm

Souza, E.C.B., 2002. Análises temporais de alta precisão utilizando GPS para avaliação das variações volumétricas ocorridas no ISTMO da Ilha do Mel. Dissertação de mestrado. Curso e pós-graduação em ciências geodésicas. UFPR, 149p. 2002.

SPU, Serviço Público da União. Home-page http://www.dji.com.br/decretos/2005-005300/2005-005300.html, acessada em julho/2005.

Stockdon, H. F.; Sallenger, A. H.; List, J. H.; Jr., and Holman, R. A., 2002. Estimation of shoreline position and change using airborne topographic lidar *Data*. *Journal of Coastal Research,* 18(3), 502-503.

Sugguio, K., Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.M. & Azevedo, A.E.G. (1985) - Flutuações do Nível do Mar Durante o Quaternário Superior ao Longo do Litoral Brasileiro e suas Implicações na Sedimentação Costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15:272-286.

Teixeira, W.; Toledo, M.C.M; Fairchild, T.R.; Taioli, R.. Decifrando a Terra. 2000 (Editoração ou livro).

Torge, W. (2001) - *Geodesy*. Walter de Gruyter, 3rd edition, 2nd. edition, 416p., Berlim, Alemanha. (ISBN: 311070728, 9783111017072).

Vanicek, P. & Krakiwsky, E.J. (1986) - *Geodesy, The Concepts*. Elsevier, Canadá, 714p. (ISBN: 10-0444877754).

Vargas, C.I., Oliveira, F.S.B, Oliveira, A.S.B. & Charneca, N. (2008) - Análise da Vulnerabilidade de uma praia Estuarina à Inundação: Aplicação à Restinga do Alfeite (Estuário do Tejo). *Revista de Gestão Costeira Integrada*. 8(1): 25-43. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista8f1_2.pdf

Webster (1988) - *The Webster's Ninth New Collegiate Dictionary.* 1564p., Merrian – Webster, Springfield, MA, USA.

Zhang, K., Huang, W., Douglas, B.C. & Leatherman, S.P. (2002) - Shoreline positions variability and long-term trend analysis. *Shore & Beach,* 70(2):31-35.

Veronez, M. R., 1998. Proposta de Parâmetros de Transformação entre os Sistemas WGS-84 e o SAD-69 para a região de São Carlos – SP. São Carlos, 113p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Apêndices

Relatório de Estação Geodésica

Estação : 93206 *Nome da Estação :* 93206 *Tipo :* Estação Planimétrica - SAT
Município : MACEIÓ *UF :* AL
Última Visita: 31/10/2005 *Situação Marco Principal :* Bom

Marco de apoio: UFAL

DADOS PLANIMÉTRICOS DADOS ALTIMÉTRICOS DADOS GRAVIMÉTRICOS
Latitude 09 ° 33 ' 23,0576 " S *Altitude Ortométrica(m)* 88,41 *Gravidade(mGal)*
Longitude 35 ° 46 ' 44,3798 "W *Altitude Geométrica(m)* 105,80 *Sigma Gravidade(mGal)*
Fonte GPS Geodésico *Fonte* GPS Geodésico *Precisão*
Origem Ajustada *Data Medição* 31/10/2005 *Datum*
S *Datum* SAD-69 *Data Cálculo* 28/04/2006 *Data Medição*
A *Data Medição* 31/10/2005 *Sigma Altitude Geométrica(m) Data Cálculo*
D *Data Cálculo* 28/04/2006 *Modelo Geoidal* MAPGEO2004 *Correção Topográfica*
6 *Sigma Latitude(m)* 0,014 *Anomalia Bouguer*
9 *Sigma Longitude(m)* 0,014 *Anomalia Ar-Livre*
UTM(N) 8.942.399,624 *Densidade*
UTM(E) 194.915,790
MC -33
Latitude 09 ° 33 ' 24,5855 " S *Altitude Ortométrica(m)* 88,36
S *Longitude* 35 ° 46 ' 45,5688 "W *Altitude Geométrica(m)* 78,98
I *Fonte* GPS Geodésico *Fonte* GPS Geodésico
R *Origem* Ajustada *Data Medição* 31/10/2005
G *Datum* SIRGAS2000 *Data Cálculo* 28/04/2006
A *Data Medição* 31/10/2005 *Sigma Altitude Geométrica(m)* 0,014
S *Data Cálculo* 28/04/2006 *Modelo Geoidal* MAPGEO2004
2 *Sigma Latitude(m)* 0,002
0 *Sigma Longitude(m)* 0,002
0 *UTM(N)* 8.942.356,000
0 *UTM(E)* 194.880,984
MC -33
** Último Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996*
*** Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006*
**** Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69*

Estação Visada Azimute Tipo Distancia (m)
AZ93206 300º 21' 4,9776" Geodésico 365,948
LOCALIZAÇÃO
CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS (UFAL), NA AV. DURVAL DE GOES MONTEIRO, 40M LESTE PARA O PRÉDIO DA REITORIA E 23M
OESTE PARA O PRÉDIO DO CJUR.
DESCRIÇÃO
CILINDRO DE CONCRETO, MEDINDO 0,30M DE DIÂMETRO COM ALTURA DE 1,20M A PARTIR DE UMA BASE DE CONCRETO EM FORMATO RETANGULAR,
MEDINDO 1,00M X 1,00M E A 0,30M DO SOLO; NO SEU TOPO BASE METÁLICA COM PINO DE CENTRAGEM FORÇADA, PADRÃO UFPR, COM ROSCA
UNIVERSAL; A 0,20M DO SEU TOPO E NO LADO NORTE, CHAPA CRAVADA NA LATERAL, ESTAMPADA: SAT 93206.
ITINERÁRIO
PARTIR DA ROTATÓRIA DA POLÍCIA FEDERAL CRUZAMENTO DA AV. MENINO MARCELO COM A AV. DURVAL GÓES MONTEIRO SEGUIR POR ESTA
AVENIDA EM DIREÇÃO A BR-101, COM 1 KM CHEGAR AO PORTÃO DE ENTRADA DA UFAL, SEGUIR EM FRENTE E COM 0,3 KM, LOCAL DA ESTAÇÃO.

Relatório de Estação Geodésica

Estação : 93208 *Nome da Estação :* 93208 *Tipo :* Estação Planimétrica - SAT
Município : **PORTO CALVO *UF :* AL**
Última Visita: 27/10/2005 *Situação Marco Principal :* Bom

DADOS PLANIMÉTRICOS DADOS ALTIMÉTRICOS DADOS GRAVIMÉTRICOS
Latitude 09 ° 02 ' 55,0618 " S *Altitude Ortométrica(m)* 8,84 *Gravidade(mGal)*
Longitude 35 ° 23 ' 28,0988 "W *Altitude Geométrica(m)* 28,32 *Sigma Gravidade(mGal)*
Fonte GPS Geodésico *Fonte* GPS Geodésico *Precisão*
Origem Ajustada *Data Medição* 27/10/2005 *Datum*
S *Datum* SAD-69 *Data Cálculo* 28/04/2006 *Data Medição*
A *Data Medição* 27/10/2005 *Sigma Altitude Geométrica(m) Data Cálculo*
D *Data Cálculo* 28/04/2006 *Modelo Geoidal* MAPGEO2004 *Correção Topográfica*
6 *Sigma Latitude(m)* 0,014 *Anomalia Bouguer*
9 *Sigma Longitude(m)* 0,014 *Anomalia Ar-Livre*
UTM(N) 8.998.905,152 *Densidade*
UTM(E) 237.141,647
MC -33
Latitude 09 ° 02 ' 56,5769 " S *Altitude Ortométrica(m)* 8,81
S *Longitude* 35 ° 23 ' 29,2734 "W *Altitude Geométrica(m)* 0,85
I *Fonte* GPS Geodésico *Fonte* GPS Geodésico
R *Origem* Ajustada *Data Medição* 27/10/2005
G *Datum* SIRGAS2000 *Data Cálculo* 28/04/2006
A *Data Medição* 27/10/2005 *Sigma Altitude Geométrica(m)* 0,009
S *Data Cálculo* 28/04/2006 *Modelo Geoidal* MAPGEO2004
2 *Sigma Latitude(m)* 0,001
0 *Sigma Longitude(m)* 0,001
0 *UTM(N)* 8.998.861,798
0 *UTM(E)* 237.107,014
MC -33
** Último Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996*
*** Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006*
**** Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69*
Estação Visada Azimute Tipo Distancia (m)
AZ93208 241º 14' 31,7107" Geodésico 859,077

LOCALIZAÇÃO
JUNTO AO MURO DA ESCOLA MUNICIPAL BENEDITO DE GUSMÃO BARBOSA, RODOVIA AL-465 A 2 KM DA ENTRADA PRINCIPAL DO MUNICÍPIO DE
PORTO CALVO NO SENTIDO JAPARATINGA.
DESCRIÇÃO
CILINDRO DE CONCRETO, MEDINDO 1,20M DE ALTURA E 0,30M DE DIÂMETRO, ELEVADO SOBRE PLATAFORMA DE CONCRETO QUADRANGULAR
MEDINDO 1,00M X 1,00M X 0,30M DE BASE DE ALTURA; NO TOPO DO PILAR DISPOSITIVO DE CENTRAGEM FORÇADA PADRÃO UFPR; CHAPA CRAVADA
NA LATERAL DO PILAR VOLTADA PARA O NORTE COM A INSCRIÇÃO: SAT 93208.
OBSERVAÇÃO
AZIMUTE SITUADO NA CAIXA D"AGUA PRÓXIMA AO HOSPITAL MUNICIPAL A 1 KM NA DIREÇÃO OESTE.

Marco de apoio: Sauaçui (foto ilustrativa)

Marco de apoio: Japaratinga (foto ilustrativa)

Coordenadas dos marcos de apoio nas praias de Sauaçui e Japaratinga

Transformação de coordenadas Geodésica para TM

Programa: GeoBase50

Elipsoide SAD_69

MC = -
33.000000000

a = 6378160.00000

b = 6356774.71900

Hemisféro Sul

Coordenadas

	Geográficas			**UTM**			Conv.	kapa
Marcos	ϕ	λ	h	Norte	Este	h		
Sauaçui	-9,29266434700	-35,33476096500	22,127	8.949.850,732	218.565,291	22,127	0,2523	1,000580
Japarat.	-9,08439479200	-35,17124278400	4,363	8.988.256,212	248.686,864	4,363	0,2149	1,000382

As coordenadas dos marcos de apoio foram processadas no Decart (UFPE), usando o programa Grafinet.

Foto ilustrativa do protótipo de um veículo dotado de apoio tri articulado para transporte da antena do GPS.

Processamento de dados UFAL – Sauaçui: modo estático relativo

Station máster: UFAL

```
$MSGLOG Ver7.00 NGPS32 Forward Normal
; Processing time and date is: 18:16:31, 09/16/2006
; Copyright Waypoint Consulting Inc., 1992-2003
      : Loading datum information...
      : Processing in datum 'SAD69' using 3PARAM conversion 'WGS84 to SAD69 (Mean)'
      : Processing GPS Only
      : Dual frequency processing selected:
      :   L2 used for ambiguity resolution (KAR, Quick Static)
      : Using the Saastamoinen tropospheric model
      : Will USE doppler measurements
      : Using Normal L1/CA RMS computation method
      : Scanning GPB Files...
      : Opening output data files with prefix 'C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados
GPS\Pasta César\2006\processamentos\Sauaçui\Fixo\UFAL2 to SALA1 (1)'
      : Elevation based antenna corrections will be applied
      :   Loading antenna profiles...
      :     Read 120 profiles
      :   Found antenna 'Generic' for station Master (UFAL259B) [Generic antenna, no
corrections]
      :   Found antenna 'Generic' for station Remote (SALA259) [Generic antenna, no
corrections]
      : Reading ephemeris files...
      :   Processing ephemeris file 'C:\C.P.Rocha\Ufpe\Oceanografia\Dados GPS\Pasta
César\2006\Dados\Ufal_Sauç\UFAL259B.epp'
```

```
      :    Detected 23 GpsEph, 0 GlonassEph, 0 GpsIono and 0 GpsAlmanac records
      :  Processing ephemeris file 'C:\C.P.Rocha\Ufpe\Oceanografia\Dados GPS\Pasta
César\2006\Dados\Ufal_Sauç\SALA259.epp'
      :    Detected 18 GpsEph, 0 GlonassEph, 0 GpsIono and 0 GpsAlmanac records
      :    Loaded 23 unique GPS and 0 unique GLONASS ephemerides
      : Scanning remote for fixed solution static sessions...
      :  1 sessions detected
      : List of static sessions detected
      :  Name       AntHgt  Start    End TimeLength       DistKm Notes...
      :  SALA1        0.000 575880 579465 00:59:45          24.73 Enabled
575895.0: Starting position is -9 29 26.66039, -35 33 47.62695, 22.937 with C/A RMS of 0.22
m
575895.0: Startup complete
575895.0: Solving for fixed static solution(s)
575895.0: ----------------------------------------------------------
575895.0:   Fixed solution for SALA1, enabled
575895.0: ----------------------------------------------------------
575880.0: Estimating remote station coordinates
575895.0: First base satellite is 14 elev 76.673
575910.0: Initializing fixed solution parameters....
575910.0:   Correcting carrier phase for small cycle slips
575895.0:   Testing base satellite 14
579465.0: Calculating fixed solution
579465.0:   RMS tolerance is 0.0498 m, Reliability tolerance is 2.000
578805.0:   Found 189 out of 236 epochs for converting dual frequency ambiguities
575955.0:   Calculating optimal positions
579435.0:   Calculating RMS values
579435.0:   12 out of 12 intersections unique
579435.0:   Continuous fixed solution reliability: 8.95 (PASSED),  RMS: 0.0114 m (PASSED),
STD: 0.0021 m
579435.0:   Continuous fixed solution position is: -9 29 26.64350, -35 33 47.61083, 22.0139 m
579435.0:   Continuous solution used 5 satellites over 58 minute(s) and 45 second(s)
579435.0:   Computing New fixed solution
579465.0:   12 out of 12 intersections unique
579465.0:   New fixed solution reliability: 4.73 (PASSED),  RMS: 0.0128 m (PASSED), STD:
0.0020 m
579465.0:   New fixed solution position is: -9 29 26.64349, -35 33 47.61053, 22.0295 m
579465.0:   Continuous has 2 points, multi-satellite has 1 points
579465.0:   Continuous (old-style) fixed solution had the best statistics
579465.0:   Fixed static reliability: 8.95,  Best RMS: 0.011
579465.0: End time reached
575895.0: ----------------------------------------------------------
575895.0:   Completed SALA1, PASSED all tests
575895.0: ----------------------------------------------------------
575895.0: Processing used 0.782 seconds for 239 epochs (305.6 epochs/second)
```

Processamento de dados Sauaçui cinemático

```
$MSGLOG Ver7.00 NGPS32 Forward Normal
; Processing time and date is: 15:20:43, 09/17/2006
; Copyright Waypoint Consulting Inc., 1992-2003
      : Loading datum information...
```

: Processing in datum 'SAD69' using 3PARAM conversion 'WGS84 to SAD69 (Mean)'
: Processing GPS Only
: Dual frequency processing selected:
: L2 used for ambiguity resolution (KAR, Quick Static)
: Using the Saastamoinen tropospheric model
: Will USE doppler measurements
: Using Normal L1/CA RMS computation method
: Using Ambiguity covariance for KAR search area (SF=3.000,Offset=0.20)
: Opening output data files with prefix 'C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2006\processamentos\Sauaçui\movel\Sauaç_móvel'
: No elevation based antenna modeling used
: Reading ephemeris files...
: Processing ephemeris file 'C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2006\Dados\Sauaç_Sauaç\Fixo.epp'
: Detected 40 GpsEph, 0 GlonassEph, 0 GpsIono and 0 GpsAlmanac records
: Processing ephemeris file 'C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2006\Dados\Sauaç_Sauaç\Movel.epp'
: Detected 40 GpsEph, 0 GlonassEph, 0 GpsIono and 0 GpsAlmanac records
: Loaded 47 unique GPS and 0 unique GLONASS ephemerides
588915.0: Starting position is -9 29 28.06162, -35 33 46.95121, 19.837 with C/A RMS of 0.49 m
588915.0: Startup complete
588915.0: Starting STATIC mode on station 'STATIC_01'
588915.0: Best base on BL1 is PRN 25 with 3 points and elevation of 70.7 degrees
588915.0: Second best on BL1 is PRN 11 with 0 points and elevation of 37.9 degrees
588920.0: Tropospheric conditions for Master at 22.1 m elevation are: Pressure 1010.7 mbar, Temperature 25.7 C, WV 19.8 mbar
588920.0: Tropospheric conditions for Remote at 19.8 m elevation are: Pressure 1011.0 mbar, Temperature 25.7 C, WV 19.8 mbar
589150.0: Entering KINEMATIC mode
592175.0: Reached end-of-file (on forward direction) in C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2006\Dados\Sauaç_Sauaç\Movel.gpb
592175.0: Processing used 0.657 seconds for 653 epochs (993.9 epochs/second)

$MSGLOG Ver7.00 NGPS32 Forward Normal
; Processing time and date is: 12:30:40, 3/18/2007
; Copyright Waypoint Consulting Inc., 1992-2003
: Loading datum information...
: Processing in datum 'SAD69' using 3PARAM conversion 'WGS84 to SAD69 (Mean)'
: Processing GPS Only
: Dual frequency processing selected:
: L2 used for ambiguity resolution (KAR, Quick Static)
: Using the Saastamoinen tropospheric model
: Will USE doppler measurements
: Using Normal L1/CA RMS computation method
: Using Ambiguity covariance for KAR search area (SF=3.000,Offset=0.20)
: Opening output data files with prefix 'C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2007\Processamentos\Sauaçui\Sauaç_móvel'
: No elevation based antenna modeling used
: Reading ephemeris files...
: Processing ephemeris file 'C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta

César\2007\Dados\Sauaç_Sauaç\Saua.epp'
: Detected 34 GpsEph, 0 GlonassEph, 0 GpsIono and 0 GpsAlmanac records
: Processing ephemeris file 'C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2007\Dados\Sauaç_Sauaç\Saua_Movel.epp'
: Detected 91 GpsEph, 0 GlonassEph, 0 GpsIono and 0 GpsAlmanac records
: Loaded 69 unique GPS and 0 unique GLONASS ephemeredes
043060.0: Starting position is -9 29 27.70422, -35 33 45.55362, 20.439 with C/A RMS of 0.47 m
043060.0: Startup complete
043060.0: Starting STATIC mode on station 'STATIC_01'
043060.0: Best base on BL1 is PRN 23 with 1 points and elevation of 46.6 degrees
043060.0: Second best on BL1 is PRN 20 with -1 points and elevation of 45.3 degrees
043065.0: Tropospheric conditions for Master at 23.6 m elevation are: Pressure 1010.5 mbar, Temperature 28.5 C, WV 23.2 mbar
043065.0: Tropospheric conditions for Remote at 20.4 m elevation are: Pressure 1010.9 mbar, Temperature 28.5 C, WV 23.3 mbar
043305.0: Prn 28 dropped out for 10.0 s on baseline BL1--will try to save ambiguity
043305.0: Entering KINEMATIC mode
043310.0: Prn 13 dropped out for 10.0 s on baseline BL1--will try to save ambiguity
043400.0: 1 epochs of less than four satellites encountered
043400.0: *** KAR engaged due to total loss of lock
043460.0: Performing KAR search at 60 seconds on baseline BL1
043460.0: KAR used 60.0 s (PASS) with average of 8.0 sats over average distance of 0.0 km
043460.0: RMS is 0.0067 cycles (PASS), Reliability is 6.0 (PASS), Float/fixed sep. is 0.32 m (PASS)
043460.0: KAR used the HIGH noise model and searched at a distance of 0.0 km
043460.0: KAR passed all tests, going back to engage fix
043405.0: Restoring 8 out of 8 satellites 0.0 sec after loss of lock (DD_DOP is 3.6)
043405.0: KAR success!
043585.0: Prn 27 dropped out for 10.0 s on baseline BL1--will try to save ambiguity
044030.0: 1 epochs of less than four satellites encountered
044030.0: *** KAR engaged due to total loss of lock
044090.0: Performing KAR search at 60 seconds on baseline BL1
044090.0: KAR used 60.0 s (PASS) with average of 7.6 sats over average distance of 0.3 km
044090.0: RMS is 0.0037 cycles (PASS), Reliability is 7.8 (PASS), Float/fixed sep. is 0.33 m (PASS)
044090.0: KAR used the HIGH noise model and searched at a distance of 0.3 km
044090.0: KAR passed all tests, going back to engage fix
044035.0: Restoring 7 out of 8 satellites 0.0 sec after loss of lock (DD_DOP is 4.1)
044035.0: KAR success!
044135.0: Detected bad Phase measurement. Rms is 11.552 m (Worst Prn is 20 on B/L BL1 with residual of -10.962)
044135.0: $$$ GPS data errors detected--will try and reject measurements, baselines or satellites
044135.0: C/A code tested OK (CaRms is 0.6 m)--The problem must be due to the carrier phase
044135.0: On code, worst PRN is 13, RMS is 11.72 m (PASS), reliability is 1.13 (FAIL)
044135.0: On phase, worst PRN is 20, RMS is 7.2437 m (FAIL), reliability is 1.30 (FAIL)
044135.0: Could not fix Kalman filter by rejecting a satellite--Failed 3 out of 4 tests
044135.0: Unable to correct bad GPS data—issuing filter reset
044140.0: $$$ Engaging filter reset--Accuracy is severily reduced
044140.0: *** KAR enaged due to occurance of filter reset
044140.0: *** Too few satellites right now, KAR will be engaged soon
044180.0: 1 epochs of less than four satellites encountered
044180.0: Base PRN 23 dropped out on master in baseline BL1

044180.0: Best base on BL1 is PRN 13 with -7 points and elevation of 45.1 degrees
044180.0: Second best on BL1 is PRN 28 with -8 points and elevation of 36.6 degrees
044180.0: Base satellite changed from PRN 23 to PRN 13 on baseline BL1 due to base drop-out
044200.0: *** KAR now engaging as there are enough satellites (and on proper interval)
044260.0: Performing KAR search at 60 seconds on baseline BL1
044260.0: KAR used 60.0 s (PASS) with average of 8.0 sats over average distance of 0.2 km
044260.0: RMS is 0.0063 cycles (PASS), Reliability is 6.4 (PASS), Float/fixed sep. is 0.04 m (PASS)
044260.0: KAR used the HIGH noise model and searched at a distance of 0.2 km
044260.0: KAR passed all tests, going back to engage fix
044205.0: Restoring 8 out of 8 satellites 0.0 sec after loss of lock (DD_DOP is 3.4)
044205.0: KAR success!
045880.0: 1 epochs of less than four satellites encountered
045880.0: *** KAR engaged due to total loss of lock
045940.0: Performing KAR search at 60 seconds on baseline BL1
045940.0: KAR used 60.0 s (PASS) with average of 7.0 sats over average distance of 0.4 km
045940.0: RMS is 0.0051 cycles (PASS), Reliability is 7.2 (PASS), Float/fixed sep. is 0.31 m (PASS)
045940.0: KAR used the HIGH noise model and searched at a distance of 0.4 km
045940.0: KAR passed all tests, going back to engage fix
045885.0: Restoring 7 out of 7 satellites 0.0 sec after loss of lock (DD_DOP is 3.4)
045885.0: KAR success!
046370.0: Reached end-of-file (on forward direction) in C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2007\Dados\Sauaç_Sauaç\Saua_Movel.gpb
046370.0: Processing used 1.063 seconds for 693 epochs (651.9 epochs/second)

$MSGLOG Ver7.00 NGPS32 Forward Normal
; Processing time and date is: 17:37:30, 4/19/2008
; Copyright Waypoint Consulting Inc., 1992-2003
 : Loading datum information...
 : Processing in datum 'SAD69' using 3PARAM conversion 'WGS84 to SAD69 (Mean)'
 : Processing GPS Only
 : Dual frequency processing selected:
 : L2 used for ambiguity resolution (KAR, Quick Static)
 : Using the Saastamoinen tropospheric model
 : Will USE doppler measurements
 : Using Normal L1/CA RMS computation method
 : Using Ambiguity covariance for KAR search area (SF=3.000,Offset=0.20)
 : Opening output data files with prefix 'C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2008\Processamentos\Sauaçui\Sauaçui08'
 : No elevation based antenna modeling used
 : Reading ephemeris files...
 : Missing ephemeris file 'C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2008\Dados\Sauaç_Sauaç\Sauaç_Fix.epp'
 : Processing ephemeris file 'C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2008\Dados\Sauaç_Sauaç\Movel.epp'
 : Detected 21 GpsEph, 0 GlonassEph, 0 GpsIono and 0 GpsAlmanac records
 : Loaded 21 unique GPS and 0 unique GLONASS ephemerides
567500.0: Starting position is -9 29 27.61603, -35 33 46.39559, 19.111 with C/A RMS of 0.39 m
567500.0: Startup complete

567500.0: Starting STATIC mode on station 'STATIC_01'
567500.0: Best base on BL1 is PRN 17 with 1 points and elevation of 58.4 degrees
567500.0: Second best on BL1 is PRN 26 with 1 points and elevation of 42.8 degrees
567505.0: Tropospheric conditions for Master at 23.7 m elevation are: Pressure 1010.5 mbar, Temperature 27.1 C, WV 21.5 mbar
567505.0: Tropospheric conditions for Remote at 19.1 m elevation are: Pressure 1011.0 mbar, Temperature 27.2 C, WV 21.6 mbar
567745.0: Entering KINEMATIC mode
570860.0: Reached end-of-file (on forward direction) in C:\C.P.Rocha\UFPE\OCEANOGRAFIA\Dados GPS\Pasta César\2008\Dados\Sauaç_Sauaç\Movel.gpb
570860.0: Processing used 0.719 seconds for 673 epochs (936.0 epochs/second)