UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

Kleiton Cassemiro do Nascimento

MONITORAMENTO POR DGPS E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DE PIRANGI DO NORTE - PARNAMIRIM / RN

NATAL

2009

Kleiton Cassemiro do Nascimento

MONITORAMENTO POR DGPS E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DE PIRANGI DO NORTE - PARNAMIRIM / RN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior

NATAL

2009

Kleiton Cassemiro do Nascimento

MONITORAMENTO POR DGPS E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DE PIRANGI DO NORTE - PARNAMIRIM / RN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

_____

Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior – Orientador

_____

Dr. Arthur Mattos – Examinador UFRN

_____

Dr. Ricardo Farias do Amaral – Examinador UFRN

_____

Dr. Raimundo Leidimar Bezerra – Examinador Externo UFCG

NATAL, 22 de Dezembro de 2009

Aos meus amores Cecília e Pedro, e meus queridos pais

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior, pelo incentivo e apoio para ingressar e continuar no programa e no desenvolvimento deste projeto. Além da sincera amizade e confiança.

À coordenação do PPGES – Prof. Dr. Arthur Mattos, pelo apoio e incentivo.

Aos colegas do PPGES pelo companheirismo durante o curso.

Aos professores do programa pelos conhecimentos passados no decorrer do curso.

Ao Prof. Dr. Ricardo Farias do Amaral, pela grande amizade e apoio, e pelo auxílio nas dúvidas sobre SIG.

Aos meus amigos Pollyanna Nunes, Elisângela, Ilzenete, Leonete, Fred, Gustavo e demais colegas da Superintendência de Infra-Estrutura da UFRN pelo incentivo e apoio. Ao grande oceanógrafo Guilherme Piérri e demais amigos que me deram força.

À Cecília, minha esposa, pelo apoio incondicional, amor e razão de ser deste trabalho. Por toda ajuda que ela me deu durante esta etapa de minha vida, de nossa vida. A quem sempre serei grato e de quem sempre terei orgulho. E nosso pequeno grande Pedro, que nasceu quando iniciei o curso e sempre foi meu maior estímulo para concluí-lo, alegrando-me nas horas tristes e fazendo-me ver o quão tudo pode ser “lindo no mundo” como ele diz.

A toda minha família, meus irmãos Kleber e Katilene, meus sogros e especialmente meus pais, Marinete e José Teixeira, que sempre acreditaram em mim e ensinaram-me os primeiros passos para que eu pudesse seguir o caminho mais justo e correto. Agradeço do fundo do coração por toda a ajuda e apoio que espero poder retribuir por toda vida.

Àquele que me deu a luz do conhecimento, a força e a perseverança para prosseguir em busca de cada vez mais, sempre em prol do próximo e de um mundo melhor. Mundo este que Ele tão bem criou e nos deu para ser partilhado e preservado.

MONITORAMENTO POR DGPS E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DE PIRANGI DO NORTE - PARNAMIRIM / RN

RESUMO

Em meio a um contínuo aumento da busca e valorização do espaço na zona costeira, cresce também a preocupação sobre os processos erosivos característicos desta área. O maior problema nas zonas litorâneas é que a urbanização ocorre de forma desordenada e insustentável, agravando ainda mais os problemas decorrentes da dinâmica costeira. A área de estudo deste trabalho está localizada no litoral Sul do Estado na praia de Pirangi do Norte, à aproximadamente 20km ao Sul de Natal, capital do Rio Grande do Norte, no município de Parnamirim. Essa área possui uma extensão aproximada de 1km dividida em três trechos (Oeste, Central e Leste) com morfologia formada por tabuleiro costeiro na parte superior, falésias nos trechos Oeste e Central e dunas no trecho Leste, ambas vegetadas, e uma planície costeira na parte inferior associada à presença de recifes de arenito. Este trabalho teve o objetivo de analisar os processos erosivos atuantes no trecho da praia de Pirangi do Norte e avaliar a viabilidade do seu monitoramento fazendo uso do DGPS (Sistema de Posicionamento Global em modo Diferencial). Foi realizada durante o trabalho uma caracterização física da área por meio de fotointerpretação e vistoria local seguida de levantamentos da linha de costa no período entre novembro de 2004 e novembro de 2009 e perfis de praia entre agosto de 2005 e julho de 2006. A análise sobre os resultados dos levantamentos anuais mostrou a ocorrência de variações da linha de costa ao longo do trecho percorrido. Em locais identificados em planta como avanço da costa em relação ao mar foi verificado in loco a presença de erosão com depósito de materiais sobre o pé da falésia, antiga posição da linha de costa, dando a noção de falso avanço da mesma. Esse fato leva a conclusão de que os dados coletados em um levantamento da linha de costa devem ser sempre acompanhados por registros fotográficos da área e locais com maior índice de erosão, evitando, assim, o equívoco de tratar materiais de depósito como indicio de avanço de costa. Ao final do trabalho, após uma análise das diversas obras de mitigação dos processos erosivos na zona costeira, recomenda-se para o local de estudo a adoção da alimentação artificial da praia, visando minimizar os efeitos erosivos das marés. Além disso, sugere-se ainda a continuidade do monitoramento, manutenção da vegetação existente e controle da ocupação na borda dos trechos com falésias.

Palavras-chave: Dinâmica costeira; Erosão; Linha de costa; DGPS

MONITORING BY FOR DGPS AND ANALYSIS OF EROSION PROCESSES OF SHORELINE IN THE BEACH PIRANGI DO NORTE - NATAL / RN

ABSTRACT

Through out the course of a steady increase in search and recovery of space in the coastal zone, there is also an expanding concern about the erosion processes of this area. The main problem in coastal areas is that urbanization occurs in a disorderly fashion and unsustainable, further aggravating the problems of coastal dynamics. The study area of this work is located on the southern coast of Pirangi do Norte beach to about 20km south of Natal, capital of Rio Grande do Norte in the Parnamirim City. This area has the length of approximately 1km, divided into three sections (Western, Central and Eastern) with a morphology consisting of a tableland at the top, sea cliffs in the West and Central parts and sand dunes in the Eastern section, both vegetated, and a coastal plain on the inferior part associated with the presence of beach rocks. This study aimed to analyze the erosion processes operating in the excerpt of Pirangi do Norte beach and assess the feasibility of their monitoring making use of DGPS (Global Positioning System Differential mode). During the work it was carried out a physical description of the area through photo-interpretation and site survey after measurement of the shoreline in the period between November 2004 and November 2009 and beach profiles between August 2005 and July 2006. The analysis of the results of the annual surveys showed the occurrence of variations of the shoreline along the stretch traveled. Sites are identified in advancement coast from the sea and it was verified *in loco* the presence of erosion with deposition of materials on the lower part of the coastal bluff, the former position of the shoreline, showing a false notion of advancing it. This leads to the conclusion that the data collected in a survey of the shoreline should always be accompanied by photographic records of the local area and with the highest rate of erosion, thus avoiding the mistake of treating the deposit materials as evidence of progress coast. At the end of the study, after a review of various works to mitigate the erosion in the coastal zone, it is recommended to the area of study the adoption of an artificial feeding of the beach, aiming the minimization of the erosive effects of the tides. Moreover, it is suggested that even the continuity of monitoring, maintenance of existing vegetation and control of the occupation on the edge of sea cliffs.

Keywords: Dynamic coastal; Erosion; Shoreline; DGPS

LISTA DE SIGLAS

Cu – Coeficiente de não uniformidade

DGPS – Sistema de Posicionamento Global em modo Diferencial

DOD – Departamento de Defesa dos Estados Unidos

DOP – Dilution of Precision

EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte

GDOP – Diluição da Precisão Geométrica

GPS – Global Positioning System ou Sistema de Posicionamento Global

HDOP – Diluição de Precisão da posição Horizontal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

L. C. – Linha de Costa

PDOP – Diluição de Precisão Posicional

PI's – Planos de Informações

SPRING – Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas

TDOP – Diluição da Precisão do Tempo

UFBA – Universidade Federal da Bahia

VDOP – Diluição da Precisão da posição Vertical

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil de praia e sua morfologia. (Adaptado de ALFREDINI, 2005). 10

Figura 2 - Relação entre grão, declividade e esbeltez da onda (H/L). (ALFREDINI, 2005). 10

Figura 3 - Taxa de transporte de sedimento anual em alguns pontos da região nordeste (Adaptado de ALFREDINI, 2005). 12

Figura 4: Diagrama ilustrativo do aporte e perdas de sedimentos pelo sistema sedimentar costeiro (Modificado de Dominguez & Bittencourt, 1996, DINIZ, 2002)..14

Figura 5 - Exemplo de um paredão também usado como arrimo, situado na Praia do Meio - Natal/RN. 15

Figura 6 - Campo de espigões na Praia de Areia Preta - Natal/RN. 16

Figura 7 – Barreiras de recifes comportando-se como quebra-mares destacados naturais na Praia do Meio - Natal/RN em condições de baixa-mar. 17

Figura 8 - Quebra-mar enraizado (molhe) situado na entrada do porto de Natal/RN. 17

Figura 9 - Princípios do engordamento no pós-praia, praia e face da costa (ALFREDINI, 2005). 18

Figura 10 - Falésia formada na borda do Tabuleiro com ocorrência de campo de dunas. 20

Figura 11 - Erosão pluvial em encostas. 21

Figura 12 – Escorregamentos. 21

Figura 13 - Quedas e tombamentos de blocos. 22

Figura 14 - Mecanismo de recuo da linha de costa em áreas de falésias (SANTOS Jr *et al.*, 2004). 23

Figura 15 - Falésia com perfil tipo 1. 24

Figura 16 - Falésia com perfil tipo 2. 24

Figura 17 - Falésia com perfil tipo 3. 25

Figura 18 - Segmentos do sistema GPS. 27

Figura 19- Geometria dos satélites (MCCORMAC, 2007). 30

Figura 20 - Sombras no sistema. 31

Figura 21 - Sistema Diferencial. 32

Figura 22 - Área de estudo (Praia de Pirangi do Norte). 36

Figura 23 - Valores mensais de chuva (A) Chuva total mensal; (B) Chuva total no ano - 1999 à 2009. FONTE: EMPARN, 2009. 38

Figura 24 - Presença de arenitos ferruginosos ao longo da linha de costa da área de estudo. 41

Figura 25 - Mapa batimétrico 3D da plataforma continental oriental do Rio Grande do Norte, evidenciando o seu baixo gradiente e alargamento nas imediações da cidade de Touros (DINIZ, 2002). 43

Figura 26 - Diagrama de classificação de costas, baseado na importância relativa da altura de maré e da altura das ondas (DAVIS & HAYES, 1984 apud. PIÉRRI, 2008). 44

Figura 27 - Localização dos trechos da área em estudo. 49

Figura 28 - Quantidade de satélites disponíveis na área de estudo para o dia 29 de nov. de 2009, entre às 7h e 17h. 50

Figura 29 - Distribuição do PDOP durante o horário considerado para levantamento. Em verde a disponibilidade de satélites (availability) e em vermelho o PDOP. 51

Figura 30 - representação da obstrução do sinal. 51

Figura 31 - GPS Promark 2 sendo instalado em modo estático na base de coordenadas conhecidas (BASE 01- em frente ao condomínio). 52

Figura 32 - Receptor GPS móvel levantando pontos do sopé da falésia em modo cinemático. 52

Figura 33 - Localização das bases usadas como apoio topográfico e perfis de praia. 53

Figura 34 - (A) Base 2 próxima ao trecho leste; (B) Base 03 próxima ao trecho oeste. Campo de nov. 2009. 54

Figura 35 - Restrição ao acesso e escadaria. 54

Figura 36 - Coleta de amostras de sedimento nos perfis de praia. 55

Figura 37 - Visão gráfica dos pontos levantados pelo GPS - Ashtech Solutions 2.60. 56

Figura 38 - Unidades Geoambientais. 59

Figura 39 - Vegetação de duna e falésias com vegetação no topo - observar a presença de edificações próximas à linha de costa. 60

Figura 40 - Mapa de vegetação. 60

Figura 41 - Mapa de uso e ocupação da área em estudo. 61

Figura 42- Trecho oeste da área de estudo. 66

Figura 43 – Raízes expostas de árvores sobre a encosta – Nov. de 2004. 67

Figura 44 - Levantamentos do sopé da falésia no trecho oeste com indicação de pontos erodidos. 68

Figura 45- Quedas de blocos da face da falésia – pontos TW-01, TW-02 e TW-03 .69

Figura 46 - Ocorrência de deslizamentos em 2004 e 2008 – ponto TW-04. 69

Figura 47 - Solapamento do sopé da falésia - ponto TW-05. 70

Figura 48 - Detalhe DET 01 - possível erosão - trecho oeste 71

Figura 49 - Trecho Central. 72

Figura 50 - Descida de árvores para a faixa de praia - trecho central. nov. 2009. 73

Figura 51 - Levantamento dos pontos da linha de costa - trecho central. 74

Figura 52 - Queda de bloco - trecho central. Nov. 2009.....75

Figura 53 - Deslizamento de material - nov. de 2004.....75

Figura 54 - Obra longitudinal aderente (paredão) protegendo a linha de costa – trecho central.....76

Figura 55 - Fotografia aérea oblíqua do trecho leste obtida antes de 2004. 77

Figura 56 - Inicio do Trecho leste em novembro de 2009. 77

Figura 57 - Caracterização do perfil do trecho leste.....78

Figura 58 - Variação da Linha de costa do trecho leste. 79

Figura 59 - Saída de águas pluviais - ponto TL-01.....80

Figura 60 - Nova saída de águas pluviais - ponto TL-02.....80

Figura 61 - Grafico do programa Ashtech Solutions 2.6 com indicação dos pontos processados (em azul) e os pontos não processados (em vermelho) – levantamento em novembro de 2009. 81

Figura 62 - Trecho leste - perfis de praia. 82

Figura 63 - Trecho central - perfil de praia. 83

Figura 64 - Trecho oeste - perfis de praia. 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - chuvas totais mensais em mm entre 1999 e 2009. FONTE: EMPARN, 2009. 39

Tabela 2 - Variações climatológicas de Natal. FONTE: EMPARN, 2009. 40

Tabela 3 - Intensidade da deriva litorânea efetiva para o segmento correspondente à área da praia de Pirangi do Norte (Adaptado de DINIZ, 2002).....44

Tabela 4 - Checklist aplicado na área de estudo (Adaptado de BRAGA, 2005). 48

Tabela 5- Checklist aplicado no trecho oeste.....62

Tabela 6 - Checklist aplicado no trecho central.....63

Tabela 7 - Checklist aplicado no trecho leste.....64

SUMÁRIO

RESUMO ..... **VI**

ABSTRACT ..... **VII**

LISTA DE SIGLAS ..... **VIII**

LISTA DE FIGURAS ..... **IX**

LISTA DE TABELAS ..... **XIII**

SUMÁRIO ..... **XIV**

1 INTRODUÇÃO **2**

1.1 APRESENTAÇÃO 2

1.2 OBJETIVOS 2

1.3 JUSTIFICATIVAS 3

2 REFERENCIAL TEÓRICO **6**

2.1 APRESENTAÇÃO 6

2.2 DINÂMICA COSTEIRA – EROSÃO E ACRÉSCIMO DE COSTA 6

2.2.1 GENERALIDADES *6*

2.2.2 FATORES CONDICIONANTES DA DINÂMICA COSTEIRA *8*

2.2.3 OBRAS DE DEFESA DOS LITORAIS *12*

2.3 FALÉSIAS 19

2.3.1 GENERALIDADES *19*

2.3.2 PROCESSOS EROSIVOS *20*

2.4 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL 25

2.4.1 GENERALIDADES *25*

2.4.2 SEGMENTOS DO SISTEMA *26*

2.4.3 RECEPTORES E SINAIS GPS *28*

2.4.4 DILUIÇÃO DA PRECISÃO (DOP) *29*

2.4.5 O DGPS (DIFERENTIAL GPS) E SUAS APLICAÇÕES *31*

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO **36**

3.1 LIMITES E LOCALIZAÇÃO 36

3.2 ELEMENTOS FÍSICOS E CLIMÁTICOS 37

4 MATERIAIS E MÉTODOS **47**

4.1 GENERALIDADES 47
4.2 CARACTERIZAÇÃO 47
4.3 PLANEJAMENTO DOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO 49
4.4 LEVANTAMENTO E COLETA DE DADOS 52

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 59

5.1 GENERALIDADES 59
5.2 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL E DE USO E OCUPAÇÃO 59
5.3 LEVANTAMENTO DA LINHA DE COSTA 65
5.4 LEVANTAMENTO DE PERFIS DE PRAIA.....82
5.5 SUGESTÕES DE MITIGAÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS.....84

6 CONCLUSÕES.....88

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....90

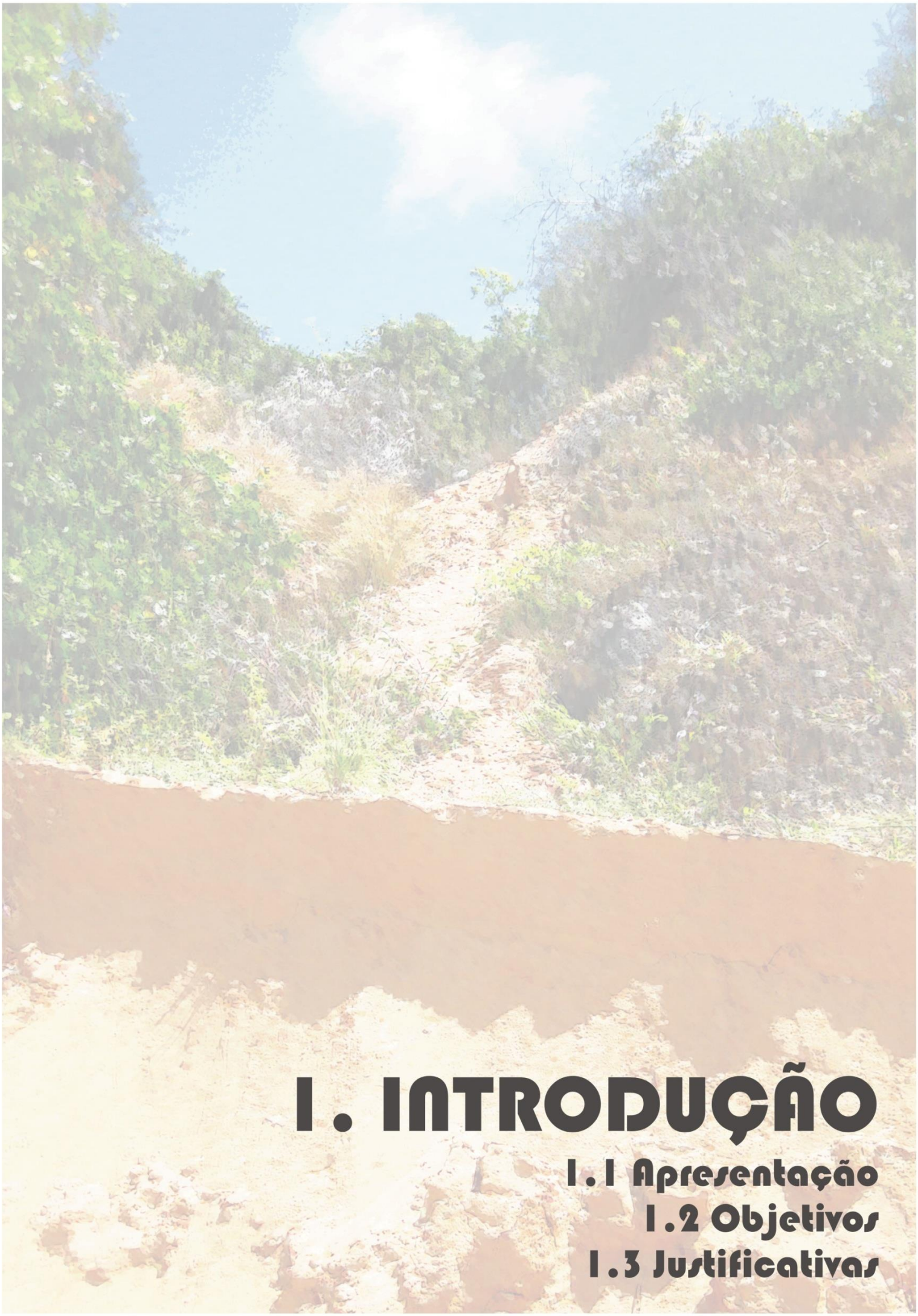
APÊNDICES 93

Apêndice 1: Mapa da Área de Estudos: Levantamento da Linha de Costa ..... ***Erro! Indicador não definido.***

Apêndice 2: Mapa Trecho Oeste: Levantamento da Linha de Costa .. ***Erro! Indicador não definido.***

Apêndice 3: Mapa Trecho Central: Levantamento da Linha de Costa ***Erro! Indicador não definido.***

Apêndice 4: Mapa Trecho Leste: Levantamento da Linha de Costa ... ***Erro! Indicador não definido.***



1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação
1.2 Objetivos
1.3 Justificativas

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O estudo da dinâmica costeira torna-se cada vez mais importante para projetos de engenharia e gerenciamento costeiro, visto que existe hoje uma busca crescente por um espaço urbano em cidades litorâneas.

O avanço do homem ocupando áreas litorâneas consideradas de risco é comum, e junto com esta ocupação normalmente vem outros agravantes, como a má destinação do lixo, inexistência de saneamento, destinação das águas pluviais e ampliação dos processos erosivos ao longo da zona costeira.

O estabelecimento de empreendimentos turísticos nessa região vem sendo observado ao longo do tempo, aumentando ainda mais os riscos causados pela variação da dinâmica costeira. A dependência econômica das atividades antrópicas relacionadas às praias e outros ambientes costeiros torna imprescindível compreender os processos dinâmicos ali atuantes em diversas escalas de tempo e espaço (ESTEVES *et al.,* 2003)

A área de estudo deste trabalho está localizada no litoral sul do Estado, na praia de Pirangi do Norte, no município de Parnamirim, à aproximadamente 20km ao sul de Natal, capital do Rio Grande do Norte. O trecho estudado possui uma extensão aproximada de 1km.

Os levantamentos da linha de costa foram iniciados em 2004 e refeitos anualmente utilizando a mesma metodologia. Os perfis de praia foram feitos em períodos menores de tempo com o intuito de verificar o comportamento do balanço sedimentar local e determinar a declividade da praia. A análise da dinâmica foi feita a partir da observação dos diversos levantamentos em épocas diferentes, juntamente com as observações *in loco*.

1.2 Objetivos

Para a caracterização de processos erosivos de uma praia, de acordo com Freitas *et al.* (2003), faz-se necessário o monitoramento de variações morfológicas

sazonais das mesmas para a verificação de ocorrências desses processos, que podem ser bruscos e impactantes, como é o caso de ressacas, que transportam grande quantidade de sedimentos, retirando-os da praia e depositando-os na forma de bancos submersos.

Este trabalho tem o objetivo de analisar os processos erosivos atuantes e avaliar a viabilidade do seu monitoramento fazendo uso do DGPS (Sistema de Posicionamento Global em modo Diferencial) durante o processo de levantamento anual da linha de costa e no levantamento de perfis de praia.

A realização deste monitoramento é complementada através da observação dos processos dinâmicos ocorrentes no local de estudo, além das intervenções antrópicas existentes.

1.3 Justificativas

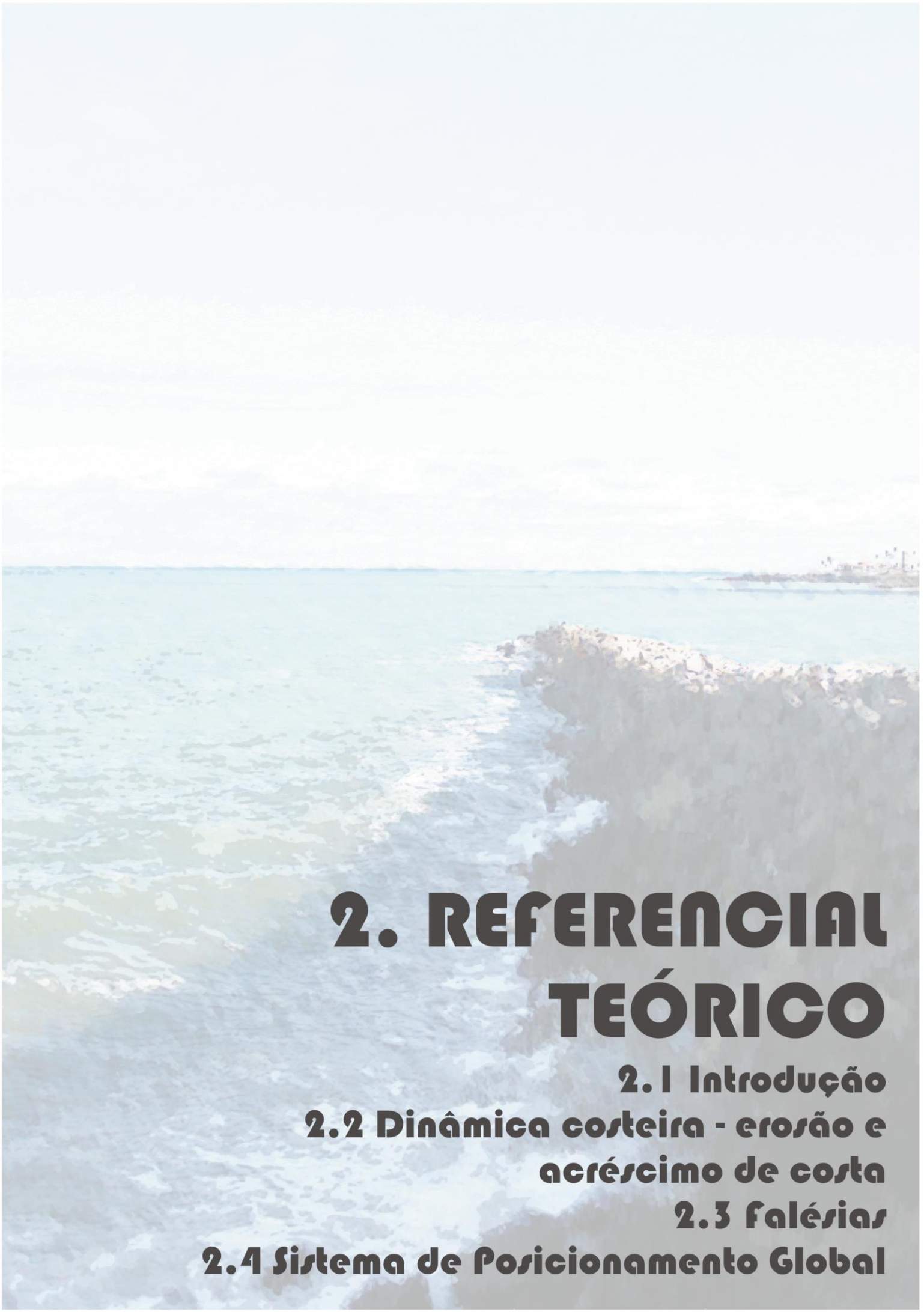
Devido à sua beleza e boas condições de banho, dentre outros atrativos, a faixa de praia em estudo se apresenta como uma área de grande interesse imobiliário. Diversos empreendimentos desse setor encontram-se instalados ou em desenvolvimento na região. No trecho em estudo existem diversas edificações e condomínios próximos da linha de costa e da borda da falésia, nas partes que contém essa feição.

Esse grande interesse do homem pela ocupação de áreas como esta traz consigo uma grande preocupação sobre as consequências dos processos erosivos ao longo da costa. Processos esses observados durante a realização do trabalho, como quedas de blocos e escorregamentos.

A junção desses fatos impulsionou a realização deste trabalho em uma área que se comporta como diversas outras áreas ao longo da costa brasileira, com problemas semelhantes àqueles aqui apresentados.

Infelizmente, mesmo com mais de 20% da população residindo na zona litorânea, não existem muitos trabalhos no Brasil abordando o tema de erosão costeira. Espera-se que este trabalho possa somar positivamente aos demais trabalhos da literatura sobre o tema, de maneira a contribuir para minimizar ou de

alguma forma conscientizar a população e órgãos gestores sobre os problemas gerados pela ocupação desordenada nas zonas costeiras.



2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Introdução
2.2 Dinâmica costeira - erosão e acréscimo de costa
2.3 Falésias
2.4 Sistema de Posicionamento Global

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Apresentação

Este capítulo apresenta a revisão da literatura que serviu de base para o desenvolvimento da pesquisa. A revisão foi dividida em três partes: a primeira trata da descrição e análise da dinâmica costeira; a segunda se refere especificamente aos processos costeiros em áreas com presença de falésias; e por último, é apresentada uma visão geral sobre o Sistema de Posicionamento Global (GPS), ferramenta utilizada durante o processo de monitoramento da área em estudo.

2.2 Dinâmica Costeira – Erosão e Acréscimo de Costa

2.2.1 GENERALIDADES

A zona costeira vive em constante transformação ao longo do tempo, podendo ocorrer variações perceptíveis em diversas escalas de tempo, desde horas até séculos.

São diversos os fenômenos que podem contribuir para a dinâmica costeira. Como principais têm-se: as mudanças eustáticas do nível do mar, o transporte de sedimentos, tempestades e a presença do homem nestas áreas podem acelerar mais os processos dinâmicos. Segundo Braga (2005), devido a esses fenômenos, a linha de costa muda constantemente as suas feições.

De acordo com Braga (2005), a dinâmica costeira compreende basicamente dois processos: o acréscimo e o recuo da costa. O acréscimo se dá quando a faixa de praia começa a avançar em direção ao oceano, devido a maior chegada de sedimentos advindos das correntes marinhas em relação à retirada dos mesmos. Se a faixa de praia estiver sofrendo um recuo em direção ao continente significa que está havendo uma maior retirada de material da praia, este processo também é conhecido como erosão costeira – o recuo da linha de costa em direção ao continente.

Normalmente os processos de erosão causam um maior impacto, principalmente em áreas com uma densa ocupação pelo homem. Desta forma, com o recuo da costa, ocorre também a destruição de edificações e empreendimentos adjacentes à área erodida. Em áreas propícias à erosão os riscos de desastres são bem maiores do que em áreas onde ocorre acréscimo ou onde o depósito e retirada de material ocorre de forma balanceada – acréscimo aproximadamente igual à retirada. Diversas tentativas estruturais são feitas para minimizar o impacto erosivo. Dentre algumas encontram-se os espigões, os quebra-mares, engordamento ou alimentação artificial das praias, paredões (obras longitudinais aderentes), plantio de vegetação, etc. Medidas não estruturais também são adotadas, como a limitação de áreas não edificáveis, mas muitas vezes estes limites não são respeitados pelo homem que tende cada vez mais a ocupar mais espaços na região costeira – segundo o IBGE (2000), 23,43% da população reside na zona costeira.

> "A zona costeira é caracterizada por uma região em que há uma constante interação entre o mar e o continente. A mesma é um ambiente dinâmico e de extrema fragilidade..." (Silva, 2003; p.14)

Segundo Braga (2005), a forma com a qual a erosão irá atuar em uma determinada linha de costa é regida pela localização, configuração, orientação e profundidade dessa região. O material que forma a encosta, juntamente com seu grau de exposição ajudará a determinar se ventos, ondas e precipitações afetarão essa linha de costa. Desta forma, observa-se que não se pode induzir uma medida estrutural em determinada área com o intuito de minimizar o recuo da linha de costa sem antes analisar as condições e características locais. Em muitos casos algumas medidas adotadas podem piorar a situação, acelerando o processo dinâmico (erosão ou acréscimo) em áreas adjacentes ou até na mesma área. Segundo Alfredini (2005), há pouco tempo atrás a maioria das obras costeiras era feita por tentativas, sem muita certeza de quais conseqüências negativas elas poderiam acarretar.

De acordo com Piérri (2008), as características regionais, em parte, determinam o potencial de riscos à erosão. A latitude, por exemplo, irá determinar alguns fatores climáticos e oceanográficos (ventos e padrões de ondas, correntes, susceptibilidade a furacões ou tempestades).

Além de descrever as características da região (localização, geologia, geomorfologia, dados oceanográficos e de ventos, dentre outros) com o intuito de avaliar o tipo e a causa dos processos dinâmicos atuantes no local, é necessário observar como se comporta a dinâmica local, que tipo de processo está ocorrendo na área de interesse – acréscimo da costa, recuo, nenhum e quais os fatores determinantes deste processo. Com base nestes dados e em informações sobre os possíveis causadores do processo dinâmico, pode-se estimar a melhor alternativa a ser adotada para minimizar os danos, ou optar por não adotar medida alguma.

2.2.2 FATORES CONDICIONANTES DA DINÂMICA COSTEIRA

Existe uma grande dificuldade de analisar a erosão devido às interações complexas entre diversos fatores que condicionam este processo, tais como os vários mecanismos de ruptura do solo, as características de transporte de sedimentos, além das intervenções antrópicas cada vez mais freqüentes (PIÉRRI, 2008).

Segundo Silva (2003), o transporte de massa tem como principal meio transportador a água, o ar e o gelo, tanto em taludes dentro do continente afastados da costa quanto em falésias costeiras. Em regiões de clima tropical a temperado predominam os processos que, de alguma forma, contam com a participação da água, seja ela pluvial ou não. Desse transporte resulta a formação de processos erosivos. Os processos erosivos ocasionados por águas pluviais e os movimentos gravitacionais de massa serão discutidos mais a fundo no tópico sobre falésias adiante. Além da água, um fator preponderante para o agravamento dos processos erosivos é a ação antrópica sobre o meio costeiro.

Atualmente, de acordo com Braga (2005), duas linhas de raciocínio se dividem em relação ao problema de recuo da Linha de Costa (L.C.). Uma corrente norte-americana defende a linha de raciocínio de que o fator preponderante para a erosão costeira seria o aumento do nível do mar. No entanto, uma segunda linha, adotada pelo Grupo de Estudos de Erosão Costeira da UFBA, defende que, para a região do litoral brasileiro, o principal fator condicionante para o recuo da linha de costa está ligado ao transporte de sedimentos ou às intervenções humanas nas áreas litorâneas.

Em relação ao transporte de sedimentos, este é um fenômeno quase que predominante nas zonas costeiras, ocasionado por fatores eólicos ou pela ação do mar. Piérri (2008) afirma que as ondas são um dos fatores mais importantes no desenvolvimento da zona costeira, elas movem sedimentos diretamente ou através da geração de correntes. A sua atividade pode causar erosão e também transportar sedimentos costeiros.

> A contínua ação dos movimentos do mar sobre a costa, que determina o clima de ondas e a intensidade e direção das correntes varia em muitas escalas de tempo, desde segundos até milênios. (ALFREDINI, 2005, p. 111)

As configurações oceanográficas da plataforma continental adjacente e configuração costeira regional influenciam a distribuição da energia que chega à linha de costa – plataformas estreitas permitem maior chegada de energia a costa. Em contra partida plataformas largas incrementam o potencial de elevação do mar em períodos de tempestade. A presença de feições naturais próximas a costa como barras arenosas ou arrecifes dissipam a energia de onda propiciando uma proteção natural (PIÉRRI, 2008).

No que diz respeito à dinâmica costeira, segundo Alfredini (2005), qualquer processo que aumente a quantidade de areia no volume de controle definido (zona litorânea) é denominado uma *fonte*. Qualquer processo que diminui a quantidade de areia no volume de controle é denominado *sumidouro*. A resultante anual entre erosão e acréscimo é praticamente nula, com situações extremas de inverno, ocasionadas pelas “ondas de tempestade”, e de verão, ocasionadas pelas “ondas de bom tempo”. Nas fundações de obras costeiras devem ser consideradas as situações extremas de erosão para fins de dimensionamento das mesmas.

> A erosão costeira é o conjunto de processos em que é removido mais material da praia de quanto suprido, devido à quebra do equilíbrio dinâmico original, sendo um dos principais problemas mundiais do ponto de vista da preservação do solo. (...) nas zonas densamente povoadas (...) a erosão costeira representa custos sociais, ambientais e econômicos muito elevados. (ALFREDINI, 2005, p. 467)

A observação dos perfis de praia, conforme apresentado no esquema da Figura 1 é essencial no processo de análise da dinâmica costeira. De acordo com Alfredini op. cit., o transporte que se processa na direção mar-costa perpendicular às

batimétricas (curvas de nível da zona litorânea) é o responsável pelas alterações do perfil da praia. Mesmo sendo a resultante anual praticamente nula, as quantidades movimentadas de areia são surpreendentemente grandes. Esse autor estabelece uma correlação entre a declividade do *estirâncio* (região com andamento aproximadamente retilíneo de baixa declividade, que se estende entre os níveis extremos de oscilação da maré), a dimensão dos grãos de areia e a exposição ao ataque das ondas. A declividade é mais suave à medida que a onda é mais forte e a areia mais fina (Figura 2). As praias engordam nos seus trechos mais altos em detrimento dos mais baixos nos períodos de fraca agitação, o inverso ocorre nos períodos de forte agitação.

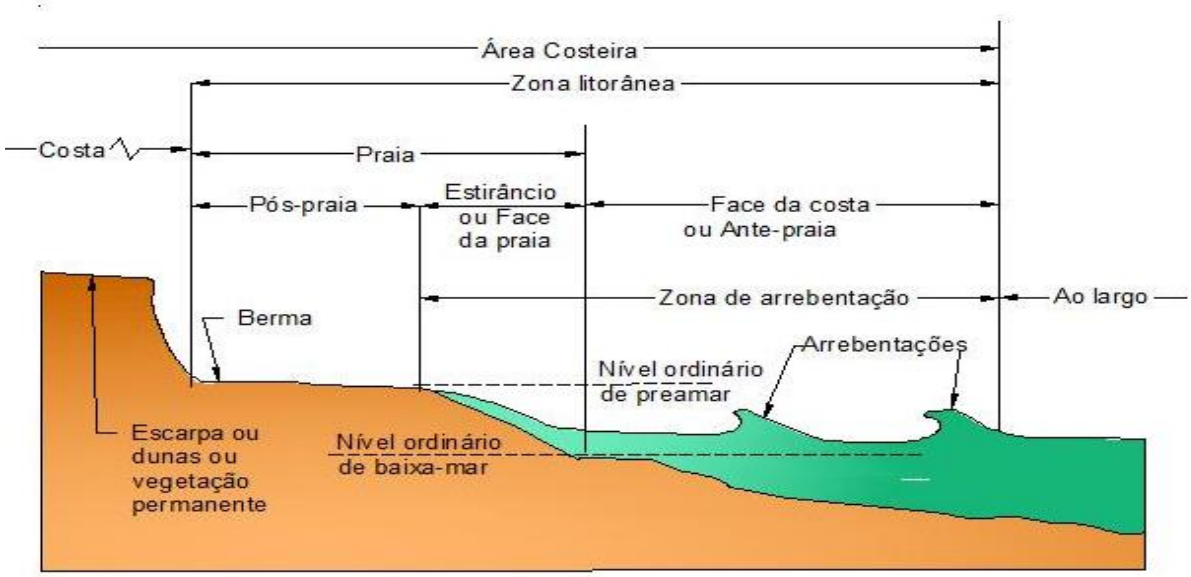


Figura 1 - Perfil de praia e sua morfologia. (Adaptado de ALFREDINI, 2005).

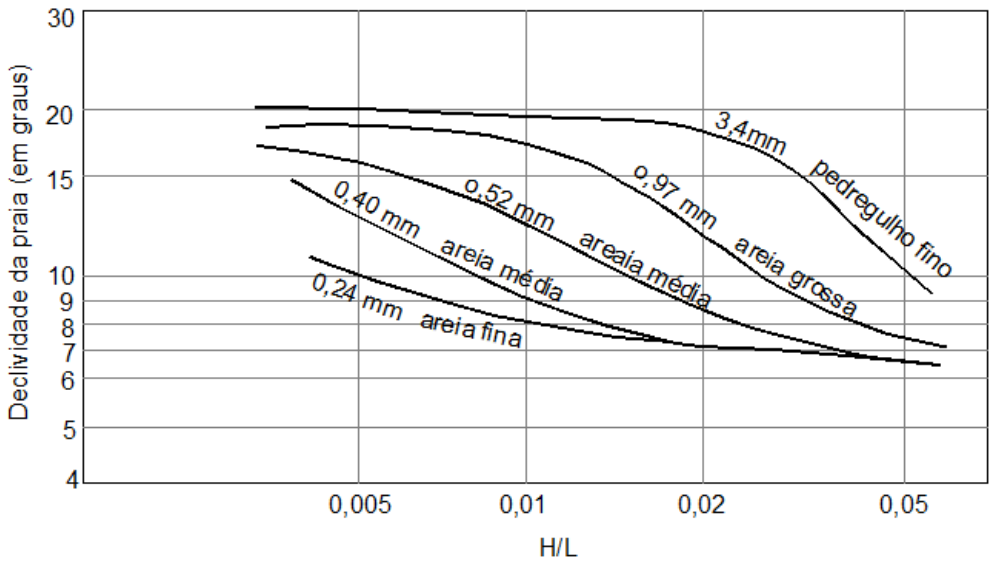


Figura 2 - Relação entre grão, declividade e esbeltez da onda (H/L). (ALFREDINI, 2005).

Segundo Braga (2005), a energia da onda é liberada durante a sua arrebentação na costa, isso cria turbulência nos sedimentos do fundo, gerando a sua movimentação. Se o perfil costeiro é bastante profundo, com uma inclinação excessiva do fundo, as ondas irão quebrar perto da costa podendo gerar mais erosão.

> É de fundamental importância entender a direção e intensidade da corrente longitudinal e a quantidade de material transportado para uma melhor compreensão dos processos erosivos locais e planejar uma medida de controle apropriada. (O'NEIL, 1986 ; BRAGA, 2005; p. 16)

Quando as ondas quebram na linha de costa com um determinado ângulo, elas produzem o movimento dos sedimentos praiais ao longo da costa. Este processo denomina-se *deriva litorânea de sedimentos*. Fatores como o ângulo de incidência das ondas, o seu tamanho, a batimetria local e o tipo de sedimento a ser transportado, influenciam na magnitude do transporte a ser desempenhado pela *deriva litorânea de sedimentos* (KOMAR, 1983, apud PIÉRRI, 2008).

Dependendo de como as ondas e as correntes marítimas se comportam sobre a costa, o movimento dos sedimentos praiais (deriva litorânea de sedimentos) pode assumir duas formas: transversal ou longitudinal à costa (ALFREDINI, 2005). Na Figura 3 a seguir é apresentada a taxa de transporte para algumas regiões do país, onde se pode observar o grande movimento de sedimentos no litoral sul do estado do Rio Grande do Norte (RN), da ordem de 400.000 m^3/ano.

Ondas provocadas pelo vento podem mover os sedimentos para dentro, para fora e ao longo da costa dependendo de algumas características como altura, comprimento, período e direção em que a onda arrebenta sobre a costa. Águas profundas produzem ondas maiores devido à quantidade reduzida de atrito com o fundo (BRAGA, 2005).

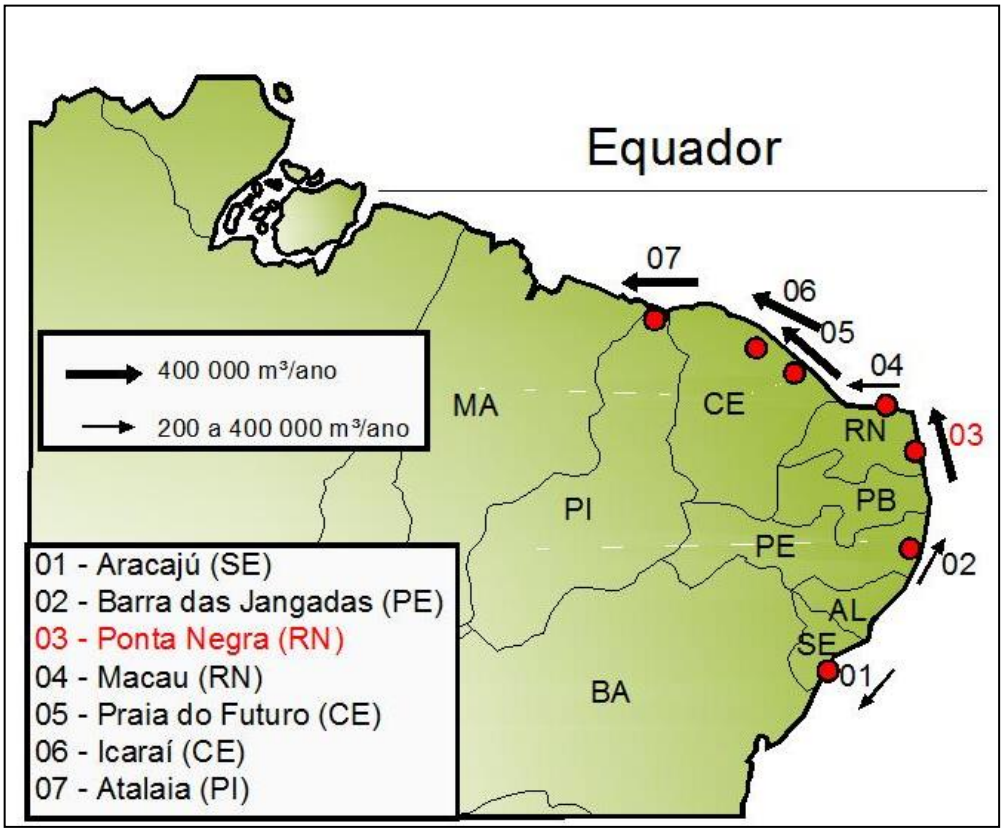


Figura 3 - Taxa de transporte de sedimento anual em alguns pontos da região nordeste (Adaptado de ALFREDINI, 2005).

2.2.3 OBRAS DE DEFESA DOS LITORAIS

O avanço da ocupação do litoral, muitas vezes de forma insustentável e desordenada, aumenta a preocupação sobre a dinâmica costeira e sua estabilidade. A opção por obras que minimizem ou anulem os efeitos da erosão vem sendo cada vez mais solicitada para conter o recuo da costa e retirada constante de material da zona litorânea.

Em muitos casos se optam por medidas não estruturais como método de defesa do litoral contra possíveis erosões. Estas medidas são as mais indicadas, pois não interferem no ambiente natural da zona costeira. Dentre as medidas não estruturais adotadas tem-se:

- Determinação de faixa não edificável para conservação da praia natural;

- Limitação da extração de fluídos do subsolo;

- Limitação da mineração nas bacias contribuintes ao transporte litorâneo;

- Privilegiar o desenvolvimento urbano em profundidade (normal a costa) e não concentrado na orla;

- Evitar edificações com gabarito alto que afetem a circulação eólica.

As intervenções estruturais têm a função de agir no balanço do transporte sólido, favorecendo a estabilização ou a ampliação da linha de costa, defendendo-a contra a erosão (ALFREDINI, 2005) Estas obras normalmente superpõe-se a um equilíbrio dinâmico já existente na costa, resultando numa nova condição de equilíbrio que pode ou não ser desejável, visto que em alguns casos, geralmente em obras mal estudadas ou improvisadas, ocorrem o risco de agravar a erosão na área ou adjacências.

Segundo Alfredini (2005), o comportamento de uma obra deve ser avaliado considerando as condições extremas e as dominantes na região onde ela será inserida. Somente desta forma será possível avaliar as conseqüências (positivas ou negativas) de determinada obra. As quantidades de areia postas em movimento na zona de arrebentação são normalmente muito grandes e é nesta zona que em geral são construídas as obras de engenharia costeira.

Para Alfredini op. cit. as obras costeiras podem afetar os processos litorâneos por:

a) Mudanças na taxa e/ou características dos sedimentos supridos a costa - o engordamento de praia é um tipo de obra que pode causar isso;

b) Ajustamento no nível do fluxo de energia das ondas em direção a costa – a exemplo dos quebra-mares;

c) Diretamente interferindo com o processo de transporte de sedimentos costeiros – espigões.

As obras dadas como exemplo acima serão mais detalhadas adiante. Na Figura 4 a seguir é apresentado como funciona esquematicamente o balanço sedimentar na zona litorânea. Este balanço deve ser levado em consideração antes de optarmos por determinada obra na região.

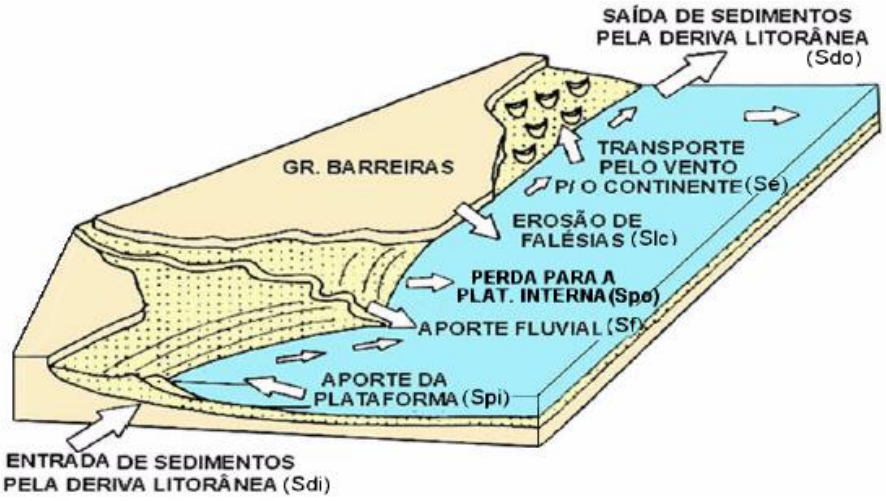


Figura 4: Diagrama ilustrativo do aporte e perdas de sedimentos pelo sistema sedimentar costeiro (Modificado de Dominguez & Bittencourt, 1996, DINIZ, 2002).

2.2.3.1 Classificação das Obras de Defesa do Litoral

A literatura classifica as obras de defesa segundo três características:

a) quanto à natureza as obras podem ser naturais – quando a própria morfologia e geologia local funcionam como defesa da costa contra as intervenções do mar sobre ela; artificiais – quando são necessárias medidas estruturais para defender a costa contra a erosão.

b) quanto à característica de transporte litorâneo:

- as de transporte de rumo dominante devem dispor de obras normais (perpendiculares) a costa;
- as de transporte insignificante ou nulo necessitam de obras paralelas a costa.

c) quanto à localização:

- transversais conectadas à costa – espigões;
- aproximadamente paralelas e não enraizadas (conectadas) à costa – quebra-mares;
- obras longitudinais aderentes (paredões);
- alimentação artificial de areia;
- fixação de dunas, proteção de escarpas.

2.2.3.2 Obras Longitudinais Aderentes

Este tipo de obra é utilizada para fixar o limite da praia nas costas que não são protegidas por praia natural. Elas localizam-se de forma longitudinal a costa e aderentes (coladas) a mesma. São também denominadas de paredões na terminologia genérica, embora possam ter diferentes funções, tais como: resistir à ação das ondas sobre a costa, de servir como arrimo e até mesmo evitar inundações (ALFREDINI, 2005).

Nem sempre a utilização de paredões impede a ação erosiva do mar, visto que eles tem suas limitações. Ocasionalmente pode haver erosão na base ou o galgamento da obra em ocasiões extremas. Além disso, as obras longitudinais aderentes protegem somente a área contemplada pelo seu tardoz (sua face frontal), as suas laterais ficam desprotegidas e, portanto, sujeitas à erosão. Outro inconveniente deste tipo de obra é em relação à estética. Sua aparência, muitas vezes grandiosa, quebra de forma brusca a paisagem natural local.

A Figura 5 a seguir mostra um exemplo de uma obra longitudinal aderente (paredão) na Praia do Meio em Natal/RN, que funciona também como arrimo para o calçadão da praia.

Figura 5 - Exemplo de um paredão também usado como arrimo, situado na Praia do Meio - Natal/RN.

2.2.3.3 Espigões

Os espigões de praia são estruturas ligeiramente transversais (perpendiculares) à costa que se estendem do pós-praia, suficientemente enraizados para não serem contornados pelo espraiamento, até a primeira linha de arrebentação.

Eles podem ser empregados isoladamente ou em conjunto - campo de espigões (ver Figura 6).

Figura 6 - Campo de espigões na Praia de Areia Preta - Natal/RN.

Os espigões têm como função a interceptação de parte ou da totalidade do transporte de sedimentos litorâneo, através de deposições a barlamar – são causadas normalmente erosões a sotamar em detrimento do depósito de sedimento em sua outra face, estabilização da praia sujeita a variações periódicas, alargamento da praia, evitar assoreamento a sotamar e serve também como complemento de fixação para a alimentação artificial das praias. Eles não são indicados, segundo Alfredini (2005), quando o transporte de sedimentos litorâneo for fraco, pois as erosões a sotamar podem ser graves. Outro fator limitante é que eles podem criar turbulência em suas extremidades, vindo a prejudicar sua estrutura.

2.2.3.4 Quebra-Mares

São obras também aproximadamente longitudinais a costa, mas destacados a uma certa distância da mesma agindo diretamente sobre as ondas associadas, dissipando sua energia antes de elas atingirem a praia prevenindo, desta forma, a erosão na zona de sombra da obra.

Ocasionalmente também são encontrados em algumas áreas costeiras linhas de arenito servindo como quebra-mares naturais, afastados de uma certa distância da costa (ver Figura 7).

Figura 7 – Barreiras de recifes comportando-se como quebra-mares destacados naturais na Praia do Meio - Natal/RN em condições de baixa-mar.

O inconveniente destas obras é que elas são geralmente obras caras devido a grande profundidade que elas se encontram, alguns podem ficar totalmente submersos e outros com uma parte emersa. Outro inconveniente é que eles são considerados anti-sanitários pelo fato de reduzirem a capacidades de renovação das águas e também pode causar risco à navegação. Além disso, eles são esteticamente desagradáveis contrastando com a paisagem local.

Alguns quebra-mares têm também a função de abrigos portuários, reduzindo a ação das ondas e suas alturas ao chegarem ao porto. A Figura 8 a seguir mostra o exemplo de um quebra-mar enraizado (molhe) na entrada do Porto de Natal/RN.

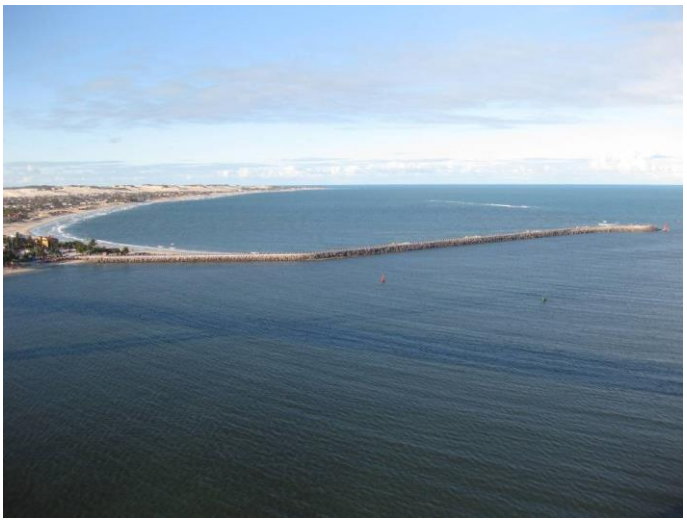


Figura 8 - Quebra-mar enraizado (molhe) situado na entrada do porto de Natal/RN.

2.2.3.5 Alimentação artificial das praias

Este tipo de intervenção consiste em realizar o suprimento de areia com material adequado obtido de áreas de empréstimo – de terra ou de mar (por dragagem). Quando não se conhecem as causas da erosão, normalmente esta solução é adotada como temporária.

A alimentação artificial de praia é a intervenção estrutural reconhecida mundialmente como a melhor defesa contra a erosão costeira, pois não necessita de obras fixas, estranhas ao ambiente natural, que são geralmente de eficiência difícil de ser prevista e, em muitos casos, com efeitos colaterais nas áreas adjacentes (ALFREDINI, 2005). No caso da alimentação artificial de praias, também chamado de engordamento, os efeitos não previstos do excessivo arrastamento das areias podem até favorecer áreas adjacentes.

Alfredini op. cit. divide o engordamento de praia em três diferentes tipos conforme apresentado no esquema da Figura 9:

- engordamento do pós-praia;

- engordamento da praia ;

- engordamento na face da costa.

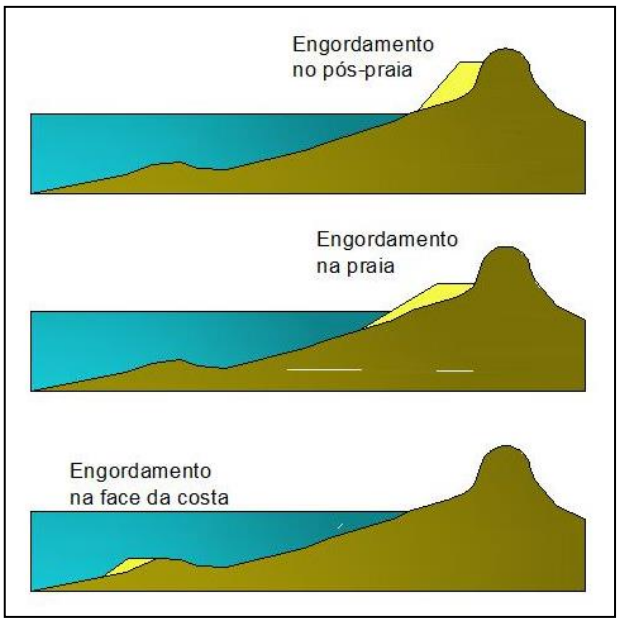


Figura 9 - Princípios do engordamento no pós-praia, praia e face da costa (ALFREDINI, 2005).

O sucesso do engordamento artificial de praias depende muito da granulometria da areia alimentada, material de empréstimo em comparação à da areia nativa.

No pós-praia ou no pé de campos de dunas, a alimentação artificial tem a finalidade de evitar erosões e solapamentos durante eventos extremos.

No engordamento da praia a areia de empréstimo deve ser similar à nativa para se ajustar de forma similar ao perfil natural, sendo vantajoso utilizar areias ligeiramente mais grosseiras do que a nativa, pois ajudará a aumentar a estabilidade com perfis ligeiramente mais íngremes.

2.3 Falésias

2.3.1 GENERALIDADES

As falésias, cortes abruptos no relevo formadas pelo avanço das águas oceânicas em direção ao continente, constituem-se como uma feição essencialmente erosiva. Onde existem falésias existe erosão. Esta erosão ou recuo em relação a um ambiente seja ele costeiro ou não é um processo lento ocasionado normalmente por eventos extraordinários isolados conseqüente a processos erosivos que ocorrem lentamente até a estrutura de parte da falésia entrar em colapso.

As falésias podem atingir alturas de até 50 metros de desnível entre o topo do Tabuleiro e a Planície Costeira. Em função disso, são freqüentemente usadas como mirantes por servirem como área de observação das belas paisagens litorâneas. Esse aspecto favorece a implantação de empreendimentos turísticos e de lazer na parte superior das mesmas. Elas podem estar em contato direto com as águas oceânicas, sofrendo erosão contínua pela ação marinha – são as chamadas falésias vivas, ou no interior do continente, sem sofrer influência marinha, conhecidas por falésias mortas ou recuadas (SILVA, 2003).

A interação entre a terra e o mar se manifesta mais drástica na evolução das encostas localizadas na zona costeira. Os processos erosivos são muitas vezes difíceis de se observar devido à dificuldade de se documentar os acontecimentos

constantes das mudanças morfológicas em si. Rupturas causadas pela ação direta das ondas podem sofrer mudanças rápidas em sua morfologia depois da ocorrência (COLLINS, 2008).

No litoral do Rio Grande do Norte, ao sul da cidade de Natal, ocorrem estas feições morfológicas que constituem o limite leste dos “Tabuleiros” (unidade morfológica predominante na região costeira oriental do RN). Em termos geológicos estes Tabuleiros são constituídos por sedimentos terciários da Formação Barreiras, que consistem de camadas de granulometria areno-argilosas, com presença de conglomerados e horizontes com cimentação ferruginosa. Em alguns locais ocorrem campos de dunas cobrindo a borda dos Tabuleiros. A Figura 10 ilustra de forma esquemática uma falésia costeira.

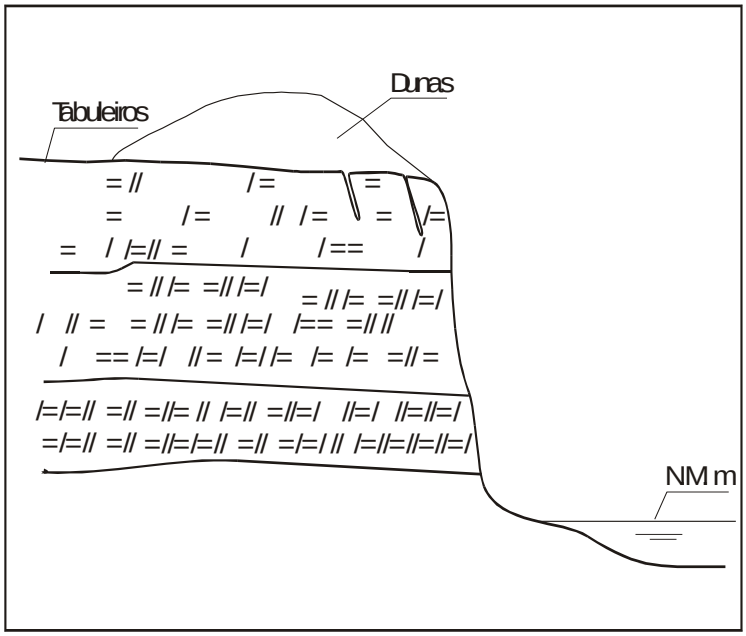


Figura 10 - Falésia formada na borda do Tabuleiro com ocorrência de campo de dunas.

2.3.2 PROCESSOS EROSIVOS

A literatura apresenta quatro tipos de processos erosivos atuantes em encostas. São estes: a erosão pluvial; escorregamentos; quedas e tombamentos e solapamento da base da encosta.

A erosão pluvial começa no instante em que as primeiras gotas de chuva batem no solo. Tal momento é denominado de splash e pode resultar na ruptura dos agregados, selando o topo do solo e dando condições para formações de poças. A

partir daí, a água começa a escoar na superfície, primeiramente em lençol, depois em fluxos lineares, evoluindo para microravinas, podendo formar cabeceiras, com algumas delas sofrendo bifurcação, formando novas ravinas (Figura 11). O aprofundamento das ravinas pode levar à formação de voçorocas.

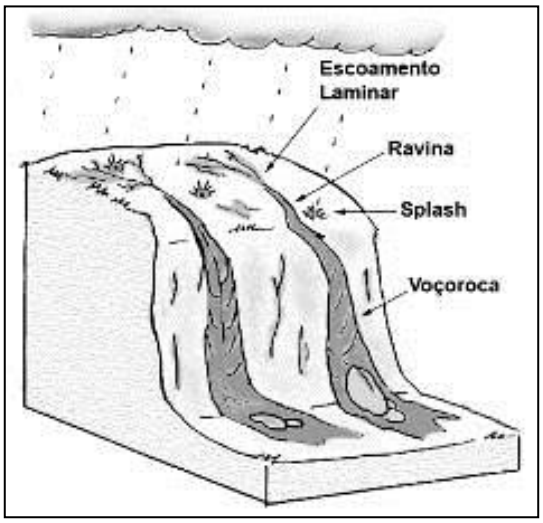


Figura 11 - Erosão pluvial em encostas.

Os escorregamentos se caracterizam pela formação de uma superfície de ruptura bem definida. Nesta ocorre concentração de deformações cisalhantes. A massa instável se desloca como um bloco ao longo da superfície de deslizamento. Podem ser rotacionais ou translacionais, dependendo da forma da superfície de ruptura (Figura 12).

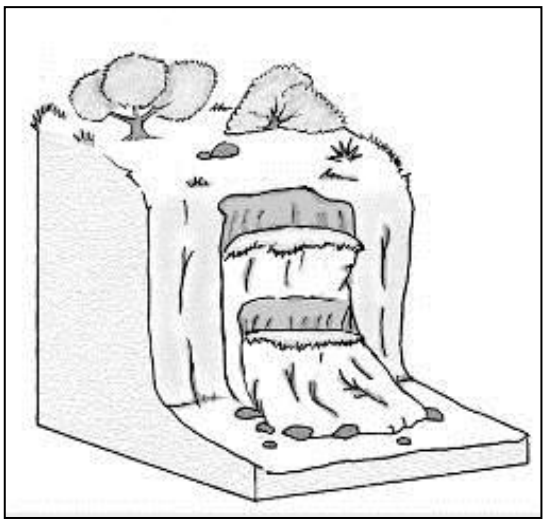


Figura 12 – Escorregamentos.

Nas quedas, o material se destaca da encosta e se movimenta em queda livre. Comumente, os movimentos são muito rápidos e podem ou não ser precedidos

por movimentos menores que levam à separação progressiva do seu local de origem. Durante o percurso da queda, o material pode atingir outros pontos da encosta deflagrando novas quedas.

Nos tombamentos, o material instável gira em torno de um ponto na sua base. Atuam no sentido de desestabilização a força da gravidade e as pressões de fluido que preenchem as descontinuidades. As quedas e os tombamentos de materiais normalmente estão associados a encostas íngremes, rochosas e com padrão de fraturamento que proporcione a compartimentação do maciço na forma de blocos (SANTOS, Jr. et al., 2008). Um exemplo de queda e tombamento de blocos em encostas é apresentado na Figura 13 a seguir.

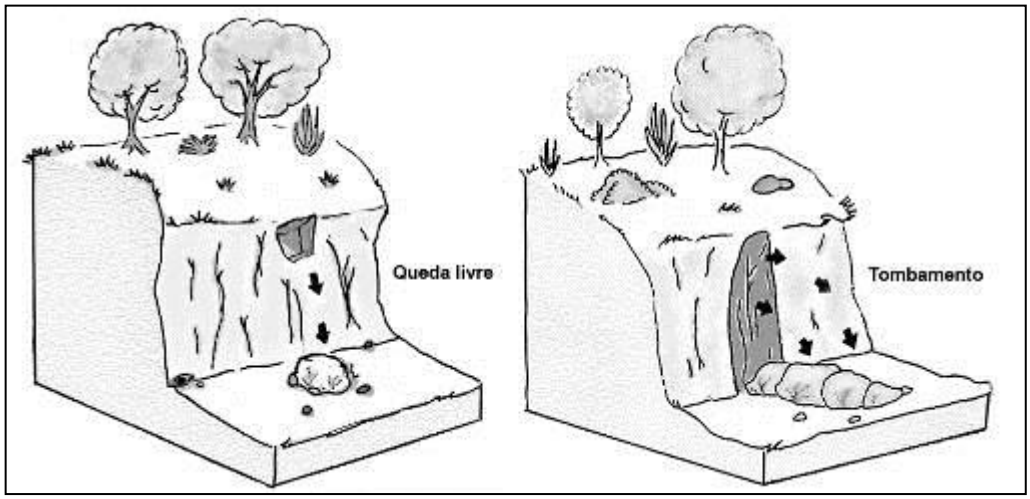


Figura 13 - Quedas e tombamentos de blocos.

Os processos que induzem o recuo da linha de costa em direção ao continente estão associados à erosão na base das falésias e a ocorrência de movimentos de massas no topo e na meia encosta. A erosão na base é provocada pela ação das ondas e correntes das águas do mar. Em relação ao topo, destacam-se os processos relacionados a ocorrências de chuvas de elevada intensidade e longa duração.

Através do ataque direto das ondas em praias com falésias ocorre a diminuição do volume de sedimentos protegendo o sopé do talude. Isso eleva o poder erosivo das ondas e a formação de incisões na base da falésia, o que provoca o solapamento da parte superior. O passo seguinte é a queda do material instável da parte elevada da encosta. Esse mecanismo pode ser visualizado de forma esquemática na Figura 14 (SANTOS Jr. *et al*., 2004).

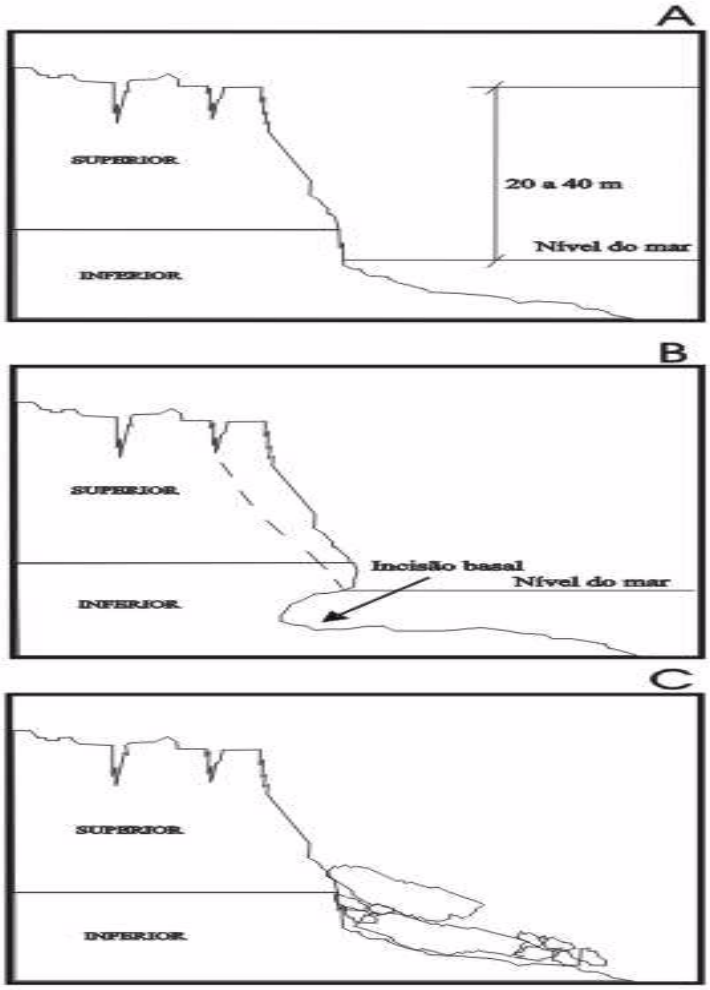


Figura 14 - Mecanismo de recuo da linha de costa em áreas de falésias (SANTOS Jr *et al.*, 2004).

Estudos já realizados nas áreas de Falésias no litoral do Rio Grande do Norte indicam que em uma escala de tempo geológica, a costa encontra-se em processo de recuo contínuo e lento (AMARAL *et al*., 1997; SANTOS Jr. *et al.*, 2001). Em escala de tempo histórico ou menor (ordem de dezenas de anos) a costa recua de acordo com processos naturais, os quais podem ser acelerados por ações antrópicas. Uma grande extensão da linha de costa do Estado do Rio Grande do Norte é constituída por falésias pertencentes à Formação Barreiras, sujeitas à erosão costeira.

O perfil das encostas é composto por duas camadas com propriedades distintas. A camada superior, com espessura variando entre 20 e 40 m, é constituída por uma areia argilosa ou siltosa de cor vermelha. A camada inferior, com espessura entre 4 e 6 m, é identificada como uma areia siltosa variegada e está sujeita à

erosão provocada pela ação de ondas nas marés mais altas (SILVA, 2003; BRAGA, 2005; SEVERO, 2005).

Quando a falésia é formada por um talude com inclinação próxima da vertical a situação mais comum constitui-se na ocorrência de quedas e tombamentos de blocos. Esses movimentos resultam da entrada das águas de chuvas em descontinuidades verticais (juntas e fraturas) que exercem pressão no sentido de deslocar o bloco para fora da encosta.

As falésias em áreas do litoral sul do Rio Grande do Norte podem ser classificadas quanto à geometria em três configurações típicas, como mostram as Figuras 15 a 17 (Santos Jr. *et al*., 2008). A falésia com perfil do tipo 1 possui talude vertical ao longo de toda a sua altura (Figura 15). A falésia com perfil tipo 2 apresenta-se com uma parte inferior vertical e uma parte superior com inclinação com a horizontal em torno de 45º a 60º (Figura 16). A falésia de perfil 3 apresenta talude com inclinação no pé torno de 40° a 50° com a horizontal (Figura 17).

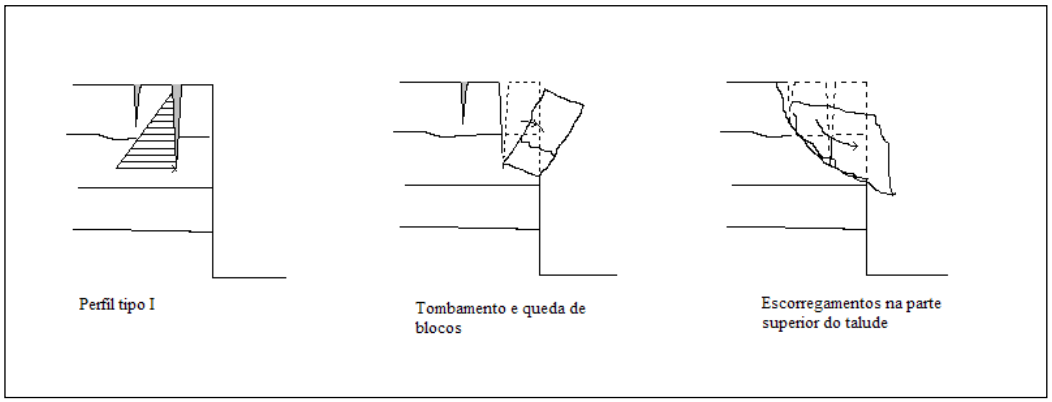


Figura 15 - Falésia com perfil tipo 1.

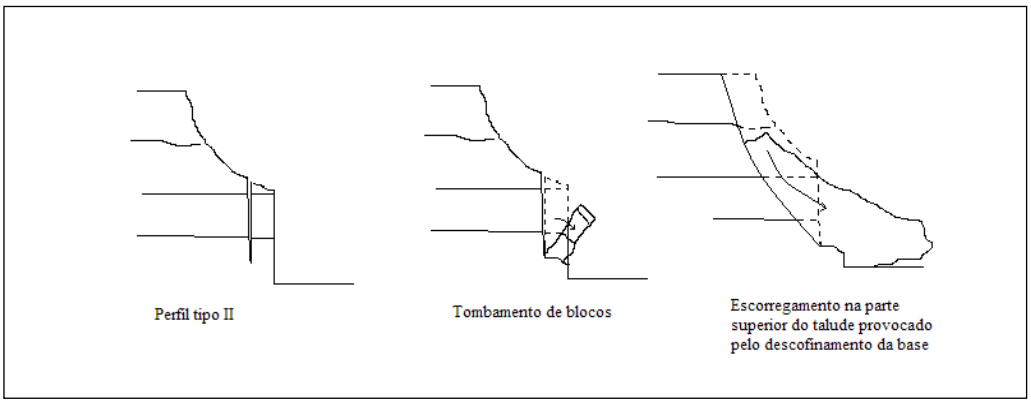


Figura 16 - Falésia com perfil tipo 2.

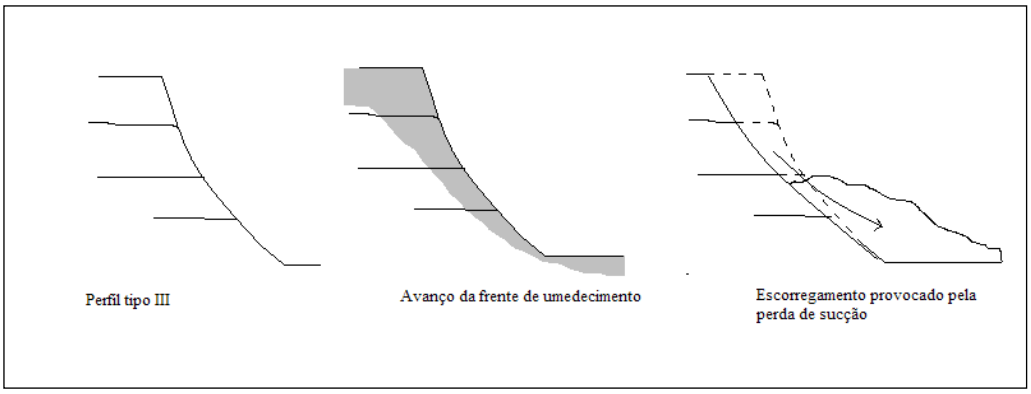


Figura 17 - Falésia com perfil tipo 3.

Com respeito à estabilidade as falésias com perfil 1 apresentam elevada susceptibilidade à ocorrência de quedas e tombamentos de materiais e a escorregamentos na parte superior da encosta. As falésias do tipo 2 são susceptíveis a ocorrência de quedas e tombamentos do material da parte inferior pelo fato de possuírem talude vertical neste setor. A parte superior pode também sofrer escorregamentos pela falta de confinamento na base do talude e por causa de erosões na face inclinada superior. Apesar de serem mais estáveis que as demais, as falésias com perfil 3 podem sofrer escorregamentos e erosão na face do talude.

Análises de estabilidade das encostas no litoral norte-rio-grandense foram conduzidas a partir de parâmetros de resistência estimados em função de sondagens de simples reconhecimento do tipo SPT executadas no local (SANTOS Jr. *et al.*, 2004). As análises indicaram um fator de segurança igual a 1,12 considerando o solo ao longo de todo o perfil da falésia na condição saturada (Sr = 100%). Contudo, vale ressaltar que esta condição é muito severa e pouco provável de ocorrer. Para uma condição não saturada do solo (prevalecente durante a estação seca) o fator de segurança obtido foi superior a 3.

2.4 Sistema de Posicionamento Global

2.4.1 GENERALIDADES

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) tem sido bastante difundido como ferramenta essencial em trabalhos onde se faz necessário determinar a

localização geográfica de pontos sobre a superfície terrestre. Sua acurácia na determinação da posição relativa entre pontos tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas.

O GPS consiste de um sistema norte americano elaborado inicialmente para fins militares que hoje pode ser usado em diversas áreas civis ou militares com a mesma precisão. Precisão esta que a princípio só era boa quando utilizada por militares chegando a ordem de um metro. Para uso civil foi embutido pelo governo norte americano um erro proposital da ordem de 100m no posicionamento. Com o avanço da tecnologia e a concorrência de sistemas de outros países (o GLONASS Russo e o GALILEO Europeu), o GPS foi aberto para o usuário civil e hoje com um navegador GPS mais simples pode-se chegar a uma exatidão no posicionamento de aproximadamente 10m.

Aqui neste referencial teórico são apresentados alguns conceitos básicos vistos como necessários para o bom entendimento e acompanhamento do trabalho.

2.4.2 SEGMENTOS DO SISTEMA

Não é somente o receptor que o usuário manuseia que corresponde ao GPS. O GPS (Global Positioning System) na verdade é composto por três segmentos que juntos são capazes de determinar a posição de qualquer ponto sobre a superfície da terra em relação a um determinado sistema de referência.

Os seguimentos que compõem o sistema são: o segmento espacial, o terrestre e o usuário (ver Figura 18).

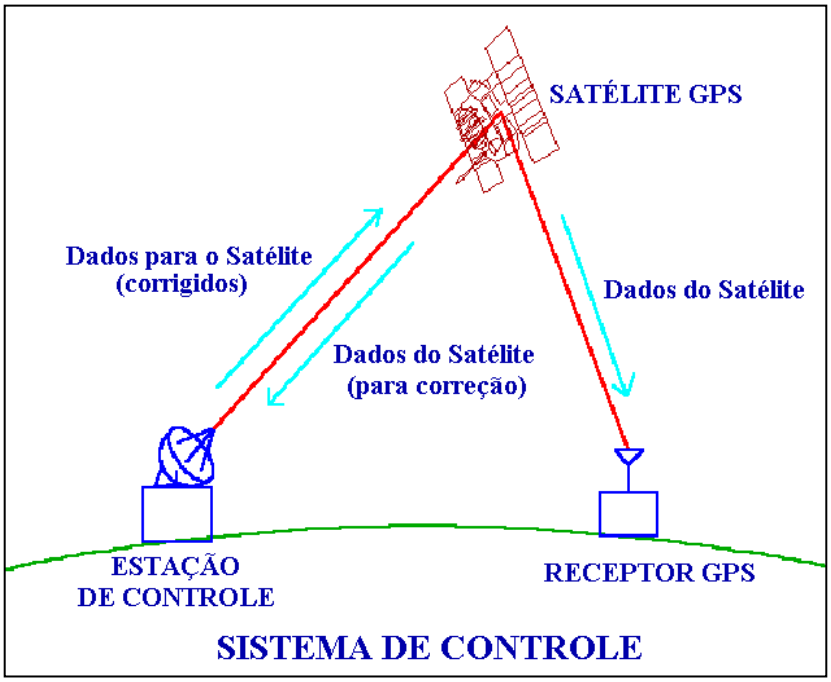


Figura 18 - Segmentos do sistema GPS.

No segmento espacial encontra-se toda a constelação de satélites a aproximadamente 20.200km acima da superfície da Terra, onde suas órbitas são completamente livres da atmosfera terrestre (MACCORMAC, 2007). O GPS possui uma constelação de 24 satélites com posições pré-definidas movendo-se em órbitas elípticas em torno da terra. Este segmento é responsável pela execução do projeto: lançamento dos satélites, geração dos sinais, entre outros.

Os 24 satélites são distribuídos em 06 planos orbitais, com 04 satélites em cada plano. Eles possuem um período orbital de aproximadamente 12 horas, ou seja, em um dia o satélite dá duas revoluções sobre a Terra.

Esta configuração permite visibilidade de 04 satélites no mínimo, em qualquer parte da Terra e, segundo SANTOS (2001), em regiões próximas ao equador já foram observados 12 satélites.

O segmento de controle ou terrestre é composto por cinco estações posicionadas na superfície terrestre que têm a função de fazer o monitoramento dos satélites efetuando os cálculos orbitais gerando as efemérides irradiadas e suas correções que serão transmitidas aos satélites.

As estações se dividem em:

- Estação Mestre;

- Estações Monitoras;

- Estações de controle de campo.

Segundo Mccormac (2007), elas estão localizadas no Havaí, Ilha de Ascensão (no meio do Oceano Atlântico entre a América do Sul e a África), Kwajalein (no Oceano Pacífico, a nordeste da Nova Guiné), Diego Garcia (no Oceano Índico) e em Colorado Springs, no Colorado, Estados Unidos. A estação de controle principal localiza-se em Colorado Springs.

Os satélites possuem período de revolução de 11 horas e 58 minutos. Como conseqüência, cada satélite passa sobre uma das estações de monitoramento duas vezes por dia. Suas altitudes, velocidades e posições são cuidadosamente medidas e a informação é transmitida para a estação principal em intervalos de poucas horas. Embora os satélites sejam lançados em órbitas muito precisas, eles tendem a derivar um pouco devido à atração gravitacional do Sol e Lua. O DOD (Departamento de Defesa dos Estados Unidos) envia as informações relativas às posições dos satélites com a freqüência de três vezes por dia para os satélites e cada um transmite as necessárias correções junto com seus sinais (MCCORMAC, 2007).

O segmento usuário compreende os equipamentos receptores e o processamento das informações de modo a satisfazer as necessidades do posicionamento para todos os tipos de aplicações. Ele recebe os dados dos satélites sobre o posicionamento calculados com base na posição, distância e velocidade de envio do sinal (velocidade da luz). Para se obter essa posição é preciso que pelo menos quatro satélites estejam sendo captados pelo receptor do usuário. Uma triangulação é feita entre os dados de cada satélite e a informação é enviada em intervalos de tempo pré-determinados para o usuário.

2.4.3 RECEPTORES E SINAIS GPS

Santos (2001) classifica os receptores GPS pelos sinais que estes captam dos satélites que podem ser: Código C/A; Código C/A + fase da portadora L1;

Código C/A + fases das portadoras L1, L2; Código C/A + código P(Y) + fases das portadoras L1, L2.

a) Código C/A - utilizado nos GPS ditos de navegação, cuja acurácia é muito baixa.
b) Código C/A + fase da portadora L1 – são os receptores GPS topográficos que captam o sinal L1 da banda L com freqüência igual a 1575,42 MHz. Na determinação de posicionamentos diferenciais são limitados a uma linha de base de até 20km.
c) Código C/A + fases das portadoras L1, L2 – são os receptores GPS geodésicos que captam, além do sinal L1, o sinal L2 de freqüência igual a 1227,60 MHz. São utilizados com precisão para levantamento com linhas de base superiores a 20km.
d) Código C/A + código P(Y) + fases das portadoras L1, L2 – o código P (preciso ou protegido) é usado em medições feitas por militares que teoricamente são mais acuradas.

Os receptores normalmente usados no mercado por amadores são os de navegação, onde não se fazem necessárias precisões abaixo de 10m no posicionamento do ponto. Neste trabalho são usados receptores que recebem o código C/A + fase da portadora L1.

2.4.4 DILUIÇÃO DA PRECISÃO (DOP)

O DOP (Dilution of Precision) é um fator determinado a partir da geometria que os satélites visíveis pelo receptor GPS durante a observação formam no espaço. Quanto mais espaçados os satélites se encontram uns dos outros menor será o DOP e vice versa. Geometrias de satélites mais espaçados (DOP mais baixo) proporcionam uma melhor triangulação entre os dados que são transmitidos do satélite para o usuário (receptor GPS), sendo assim a geometria é dita forte e nestas ocasiões tem-se uma melhor precisão na determinação da posição do ponto (coordenadas). Em geometrias fracas observam-se uma inexatidão maior nas medições da posição (ver Figura 19).

Segundo Mccormac (2007) o DOP é calculado pelo equipamento GPS usando o método dos mínimos quadrados para determinar o efeito da geometria do satélite sobre a exatidão da medição. O valor obtido é chamado de Diluição da Precisão Geométrica (GDOP). A Diluição de Precisão Posicional (PDOP) é igual ao GDOP corrigido dos erros de medição de tempo. Estes valores são determinados a partir das observações de diversos satélites e mudam à medida que os satélites se movem em suas órbitas. Deve-se procurar fazer as observações quando o PDOP (mais importante DOP) for o menor possível, por este motivo se faz necessário um planejamento antes de ir a campo fazer as medições.

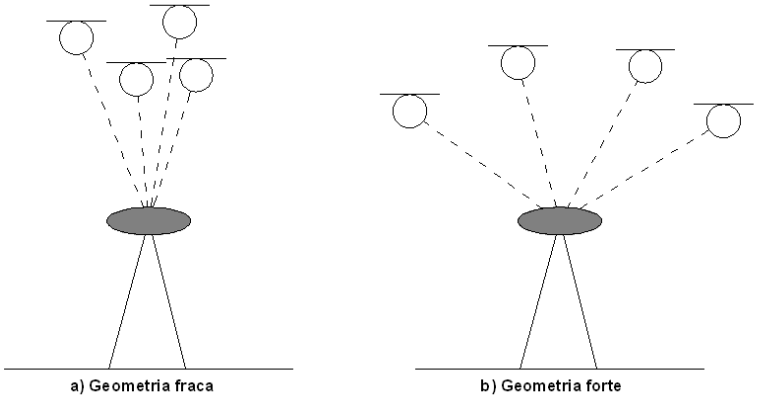


Figura 19- Geometria dos satélites (MCCORMAC, 2007).

Mccormac op. cit. afirma ainda que caso os satélites estejam localizados próximos ao horizonte, seus sinais terão de passar através de mais atmosfera que os sinais dos satélites que se encontram mais alto no horizonte. Como conseqüência as observações são normalmente feitas a partir de um ângulo vertical assumido arbitrariamente de aproximadamente 10 a 20º acima do horizonte, devido a magnitude de erros da ionosfera. Este ângulo de corte é chamado de *mascara de elevação.*

Sombras sobre o equipamento causadas por obstáculos próximos como árvores ou prédios (ver Figura 20) podem aumentar o DOP reduzindo a precisão das medições. Estas sombras devem ser previstas no momento de se fazer o planejamento de campo em programas específicos de processamento de dados GPS. Desta forma pode-se reduzir o erro na hora das medições executando-as em horários com maior disponibilidade e melhor geometria na região sem sombra próxima ao receptor.

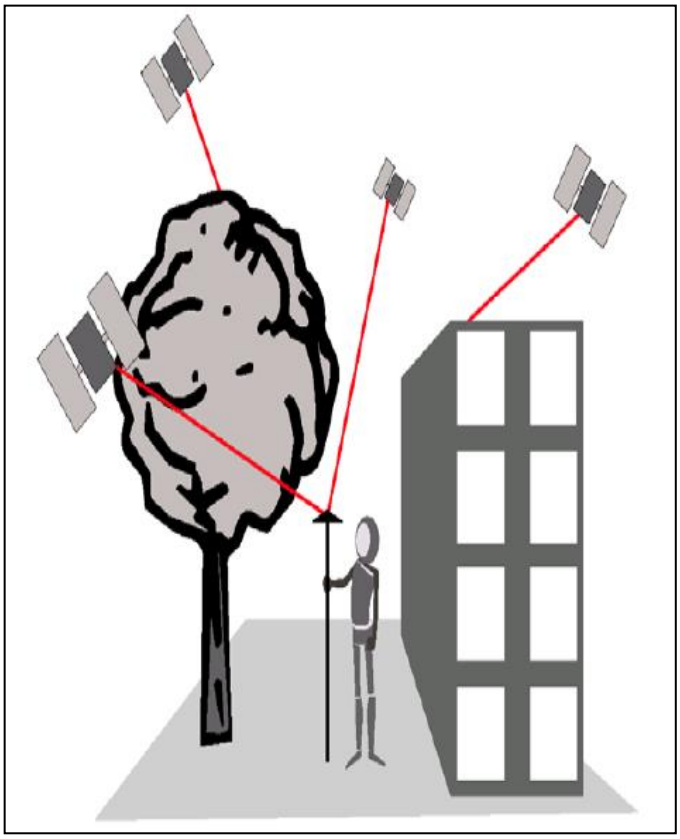


Figura 20 - Sombras no sistema.

Além do GDOP e do PDOP os outros fatores também considerados são:

- HDOP (Diluição de Precisão da posição Horizontal – latitude; longitude);
- VDOP (Diluição da Precisão da posição Vertical – altura);
- TDOP (Diluição da Precisão do Tempo).

2.4.5 O DGPS (DIFERENTIAL GPS) E SUAS APLICAÇÕES

Além do modo de posicionamento absoluto, onde é usado apenas um GPS para determinar a posição de um ponto sobre a superfície da terra, existe também o modo Diferencial conhecido por DGPS que faz uso de dois receptores GPS nas medições.

O levantamento funciona usando um GPS como base (estático) fixado em um ponto de coordenadas conhecidas e outro colocado fixo (estático) ou em movimento (cinemático) sobre pontos cujas coordenadas deseja-se determinar (ver Figura 21).

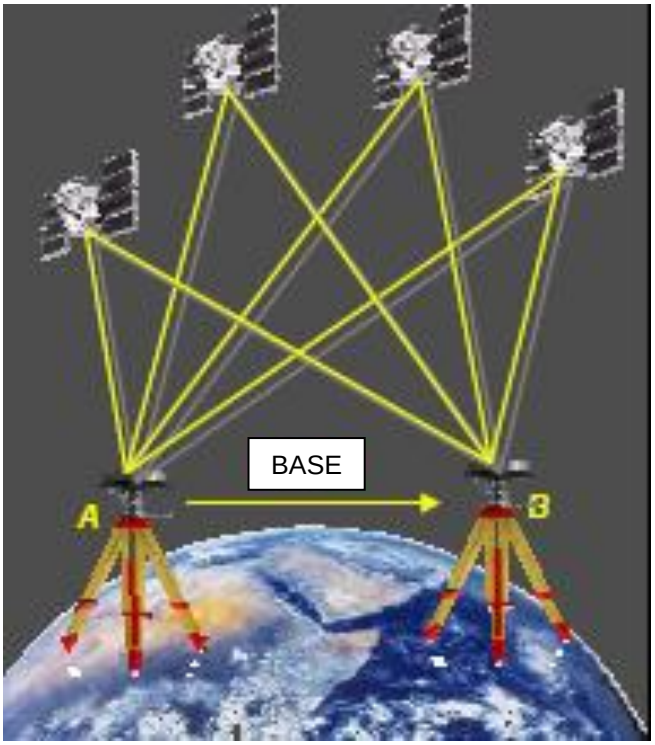


Figura 21 - Sistema Diferencial.

Os modos de levantamento diferencial com GPS são: estático; estático rápido (stop and go) e o cinemático.

No modo estático ambos os receptores permanecem estáticos nos pontos, a base em um ponto de coordenadas conhecida e o outro em um ponto onde se deseja determinar as coordenadas. O tempo para coleta dos dados depende da distância da linha de base entre o receptor base e o móvel. Para distâncias de 20km com receptores que recebem sinal L1 (uma freqüência) é necessário permanecer pelo menos uma hora no local. A precisão neste modo pode chegar até 5mm + 1ppm (parte por milhão) na horizontal e 10mm + 2ppm na vertical.

No modo estático rápido (stop & GO) um receptor permanece em modo estático como base sobre um ponto de coordenadas conhecidas, enquanto o receptor móvel segue coletando pontos de coordenadas desconhecidas permanecendo sobre os mesmos por um período de 10 a 15 segundos. Em receptores com uma freqüência este tipo de levantamento só é viável com linhas de base de no máximo 10km. A precisão neste modo pode chegar até 12mm + 2,5ppm na horizontal e 15mm + 2,5ppm na vertical. O modo cinemático segue o mesmo princípio do estático rápido, também chamado de pseudo-cinemático. A diferença é que o receptor móvel não necessita parar sobre os pontos para coletar as

informações. Estas são determinadas continuamente a intervalos de tempo pré-definidos que variam de 1 a 5 segundos normalmente. SANTOS (2001) afirma que testes efetuados neste modo mostraram que, para uma linha de base de 20km, a precisão está na ordem de 20cm + 10ppm.

A tecnologia de receptores GPS vem crescendo gradativamente com o tempo de modo a garantir cada vez mais uma melhor precisão nos levantamentos feitos com a utilização deste sistema em modo diferencial.

Diversos trabalhos na literatura têm empregado o DGPS demonstrando suas mais variadas aplicações.

Freitas *et al.* (2003) realizaram uma análise morfológica de ambientes costeiros utilizando como ferramenta o DGPS que, em comparação com o emprego da topografia convencional que faz uso de teodolito para determinação de perfis de praia, mostrou-se bastante eficaz tendo em vista que as variações de cota encontradas na comparação dos métodos tiveram seu máximo em 0,15 m e mínimo em 0,002 m, e as distâncias variaram entre 0,21 m e 0,01 m.

Esteves *et al.* (2003) descreve os padrões de variação da linha de costa observados no Rio Grande do Sul através de mapeamento por DGPS em um intervalo de tempo de cinco anos. O levantamento mostrou-se satisfatório e possibilitou a identificação de padrões de comportamento das variações da linha de costa em diferentes trechos do litoral gaúcho.

Uma grande preocupação que se tem quando se opta pela utilização do GPS está relacionada com sua exatidão em levantamentos altimétricos. Partindo deste fato foram feitos estudos sobre o seu desempenho neste tipo de levantamento em áreas de topografia acentuada para avaliar o quão preciso ele é na determinação de diferenças de nível.

Coelho (2003) apresenta um comparativo entre a utilização de receptores GPS geodésicos e Estações Totais em serviços de altimetria realizando cálculo de volume de áreas a partir dos dois métodos. Coelho concluiu que estes receptores mostram-se perfeitamente viáveis para o levantamento altimétrico por apresentarem, com relação à Estação Total, diferenças de volume menores que 1% (um porcento).

Segundo ele este erro é aceitável, pois ele é facilmente encontrado entre vários modelos matemáticos utilizados para cálculos de volumes.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

3.1 limites e localização

3.2 Elementos físicos e climáticos

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Limites e Localização

A área em estudo está localizada na praia de Pirangi do Norte, litoral sul do estado do Rio Grande do Norte, no município de Parnamirim, à aproximadamente 20km ao sul de Natal, capital do Estado.

O trecho escolhido abrange uma faixa de praia de cerca de 1km de extensão que compreende parte da praia de Pirangi do Norte até a Ponta do Flamengo e parte da praia de Cotovelo. Todo este trecho é caracterizado pela presença de tabuleiros na parte superior, falésias que são as encostas da borda do tabuleiro, e a planície costeira na parte inferior onde existe a ocorrência de recifes de arenitos atuando como uma proteção natural das encostas. Em termos geológicos ocorrem sedimentos da Formação Barreiras, sedimentos eólicos, sedimentos praiais e os arenitos de praia (ver Figura 22)

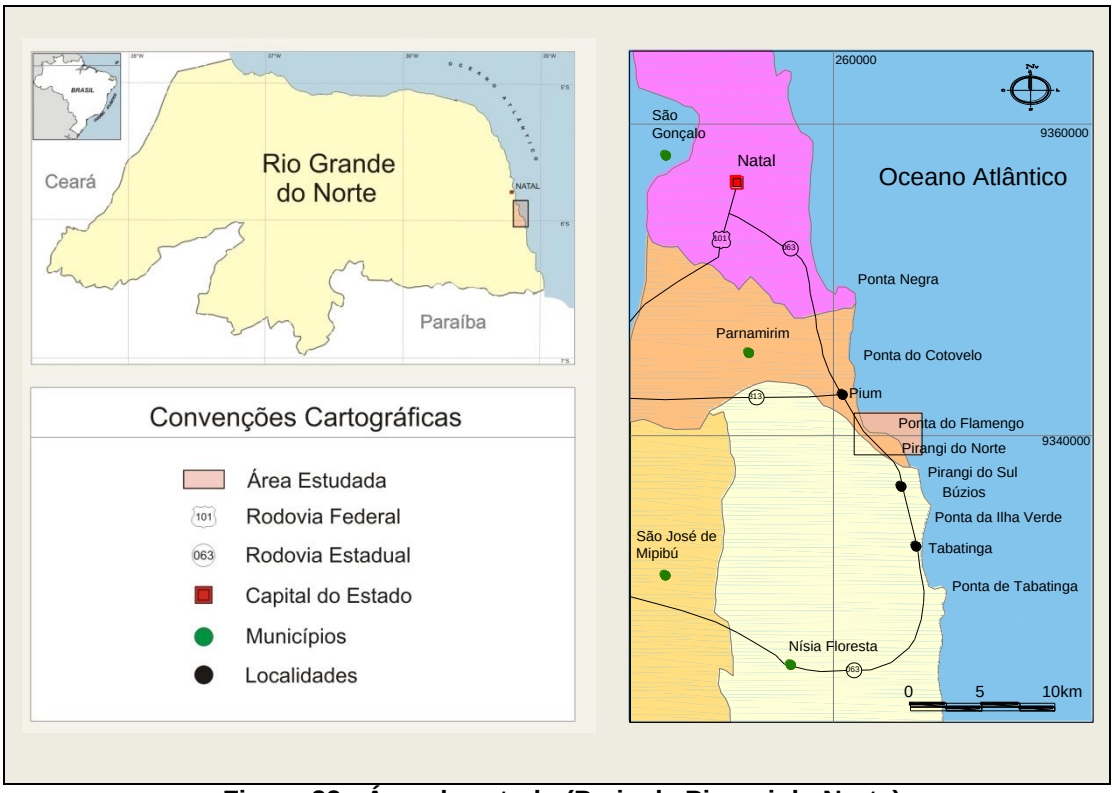


Figura 22 - Área de estudo (Praia de Pirangi do Norte).

3.2 Elementos Físicos e Climáticos

3.2.1 CLIMA E PLUVIOMETRIA

O clima, juntamente com as características litológicas e estruturais de uma região, condiciona o processo erosivo dominante (SANTOS Jr. *et al.*, 2008).

Na região litorânea oriental norte-rio-grandense, a estação chuvosa se concentra principalmente no período que vai de fevereiro a julho, quando os totais mensais, em média, variam entre 120 e 230 mm, tendo os meses de agosto a janeiro como os mais secos, com médias da precipitação total mensal sempre abaixo de 80 mm (DINIZ, 2002).

A região possui clima quente e úmido com temperatura média diária variando em torno de 27ºC e umidade relativa em torno de 80%. A Figura 23 a seguir, apresenta os gráficos da chuva máxima mensal e do total acumulado por mês, respectivamente, em um período de 10 anos entre 1999 e 2009 obtidos a partir de dados da EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte) coletados em novembro de 2009.

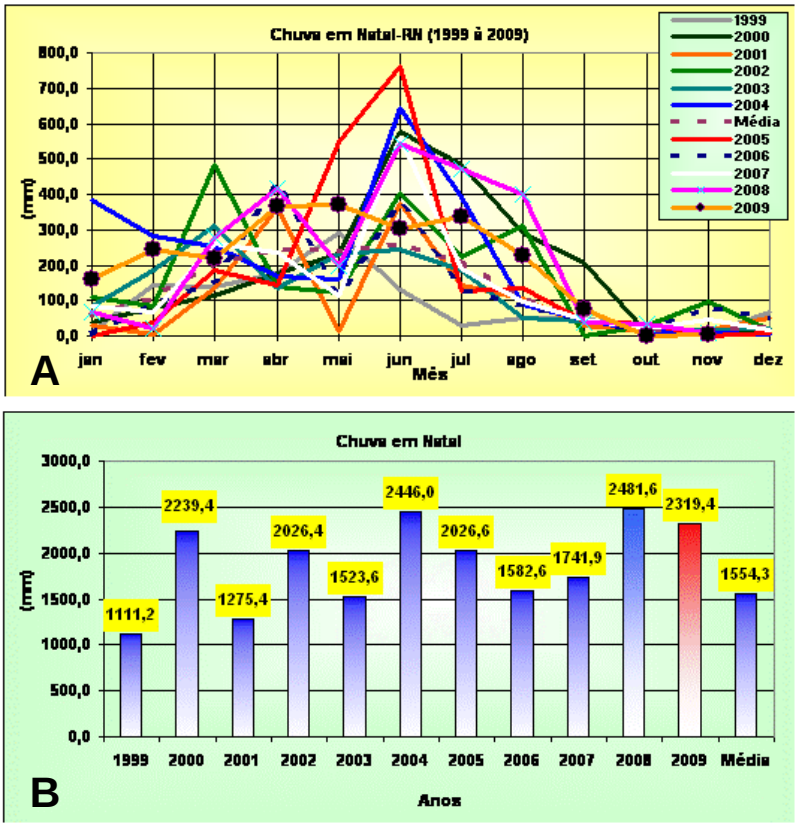


Figura 23 - Valores mensais de chuva (A) Chuva total mensal; (B) Chuva total no ano - 1999 à 2009. FONTE: EMPARN, 2009.

A Tabela 1 a seguir apresenta quantitativamente as chuvas máximas mensais entre os anos de 1999 e 2009 e a média de cada mês do ano. Observa-se que os totais máximos de chuva foram para os anos de 2004 e 2008, anos estes em que ocorreram registros de movimentos de massa dentro da área de estudo.

Tabela 1 - chuvas totais mensais em mm entre 1999 e 2009. FONTE: EMPARN, 2009.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Média
jan	12,6	40,0	30,1	108,9	84,1	383,9	2,0	4,2	86,3	68,2	162,1	58,6
fev	143,8	79,9	6,2	82,3	184,0	283,0	36,4	87,2	67,6	22,4	245,7	109,3
mar	139,2	114,9	133,8	483,1	312,0	252,0	186,3	157,4	260,9	279,8	220,6	206,2
abr	175,8	177,4	360,2	137,7	133,4	167,8	144,0	427,9	236,8	417,0	364,3	249,6
mai	289,5	230,0	14,4	122,8	230,8	160,6	548,2	115,3	115,7	198,3	372,3	239,3
jun	131,5	577,2	373,4	405,6	244,3	642,9	761,3	375,1	560,4	542,0	304,5	261,1
jul	31,1	482,3	145,2	225,2	183,5	393,4	126,9	133,3	191,4	473,1	338,5	209,1
ago	49,8	288,8	103,2	312,9	49,6	90,1	134,4	90,3	95,8	401,1	229,2	111,3
set	51,1	205,1	28,4	1,0	41,6	44,4	43,9	45,2	46,2	37,8	76,7	51,1
out	14,5	8,7	13,2	29,2	21,7	13,0	31,6	13,4	19,6	32,0	0,9	17,9
nov	5,4	12,1	17,1	98,9	16,1	10,1	1,2	83,5	45,2	9,5	4,6	15,8
dez	66,9	23,0	50,2	18,8	22,5	4,8	10,4	49,8	16,0	0,4		25,0
total	1111,2	2239,4	1275,4	2026,4	1523,6	2446,0	2026,6	1582,6	1741,9	2481,6	2319,4	1554,3

A seguir são apresentados na Tabela 2 os demais dados climatológicos – pressão, umidade relativa, temperatura mínima, máxima e média e velocidade média para os doze meses do ano obtidos através da EMPARN.

Tabela 2 - Variações climatológicas de Natal. FONTE: EMPARN, 2009.

Mês	Pressão (HPa)	UR (%)	Tmín (ºC)	Tmáx (ºC)	Tméd (ºC)	VEL (Km/h)
Jan	1006,0	76,9	22,4	32,2	27,2	25,8
Fev	1005,8	77,7	22,5	32,3	27,2	25,2
Mar	1005,6	80,3	22,6	32,6	27,1	23,0
Abr	1005,6	82,2	22,4	32,3	26,7	23,7
Mai	1006,6	83,2	21,8	31,7	26,1	24,8
Jun	1008,2	83,8	20,7	30,9	25,3	27,0
Jul	1009,2	83,2	20,0	30,2	24,6	28,2
Ago	1009,4	80,6	19,9	30,2	24,7	30,2
Set	1008,7	78,0	20,2	30,4	25,4	30,1
Out	1007,5	75,7	21,3	31,3	26,3	31,2
Nov	1006,6	75,6	22,0	31,5	26,7	30,7
Dez	1006,1	76,1	22,2	31,8	27,0	28,6

É de extrema importância observar as condições pluviométricas na área, pois, segundo Diniz (2002), sendo a precipitação pluviométrica um dos agentes dinâmicos atuantes, em conjunto com a umidade ambas provocam o intemperismo físico e químico das rochas, condicionam a descarga dos rios e o transporte de sedimentos do continente para a praia e, em conjunção com as características do solo, condicionam a distribuição da cobertura vegetal, a qual exerce fundamental influência na estabilização das formas de superfície. Sendo a área objeto deste estudo uma região consideravelmente ocupada pelo homem, é interessante observar também a contribuição antrópica através do despejo de águas pluviais na zona de praia.

O processo erosivo causado pela chuva tem como principal área de atuação as regiões de clima tropicais, onde os totais pluviométricos são maiores do que nas outras regiões do planeta. O fato das chuvas se concentrarem em certas estações do ano nessas regiões agrava ainda mais a erosão. Embora os solos tropicais estejam adaptados ao clima tropical (com chuvas intensas), quando eles estão

desprovidos de cobertura vegetal, o processo erosivo se instala mais facilmente, devido às chuvas incidirem diretamente sobre a superfície do terreno (SANTOS Jr. *et al.* 2008).

Diniz (2002) define o clima ao longo do litoral oriental norte-rio-grandense como um clima tropical chuvoso quente e com verão seco.

Em relação aos ventos, os que dominam o litoral oriental norte-rio-grandense de acordo com Diniz op. cit., são os ventos provenientes do quadrante SE, seguidos pelos ventos de E, de S e de NE. O domínio dos ventos de SE se dá no período novembro-fevereiro, seguidos pelos ventos de E, com ligeiro domínio em maio e domínio absoluto nos meses de setembro e outubro. Os ventos de NE dominam no mês de abril, e os ventos de S se apresentam como secundários durante todo o ano.

3.2.2 GEOLOGIA E VEGETAÇÃO

A planície costeira é formada por praias que são limitadas pelo mar e pelos tabuleiros costeiros. Trata-se de terrenos planos que têm sido alterados pela presença de dunas que se sobrepõe aos tabuleiros. Nestes ocorrem os sedimentos da Formação Barreiras os quais consistem de camadas intercaladas de arenitos argilosos, argilitos, conglomerados e arenitos ferruginosos. As dunas, sobrepostas aos sedimentos da Formação Barreiras são formadas por areias finas quartzosas de origem eólica (SILVA, 2003). Os arenitos ocorrem ao longo de alguns trechos da área de estudo, segundo um alinhamento aproximadamente paralelo à linha de costa (ver Figura 24).

Figura 24 - Presença de arenitos ferruginosos ao longo da linha de costa da área de estudo.

As rochas sedimentares e os sedimentos ocupam praticamente toda a porção litorânea oriental potiguar, sendo representados dominantemente, da base para o topo, pelas rochas carbonáticas e areníticas cretácicas e terciárias das Bacias Potiguar e Pernambuco-Paraíba, os depósitos areno-argilosos tércio-quaternários da Formação Barreiras, culminando com as acumulações quaternárias compostas pelos arenitos de praia e sedimentos arenosos, argilosos e argilo-arenosos de ambientes fluviais, lacustres, estuarinos, dunares e praiais (DINIZ 2002).

A região sul do litoral do Rio Grande do Norte apresenta algumas áreas recobertas por vegetação de restinga, cerrado, caatinga e também resquícios de cobertura vegetal de mata-atlântica (PIÉRRI, 2008). A floresta de terras baixas e solos arenosos que se estende do Rio de Janeiro ao Rio Grande do Norte, é constituída basicamente de florestas de restinga e florestas de tabuleiro (CESTARO, 2002 apud PIÉRRI, 2008).

3.2.3 ONDAS, CORRENTES E MARÉS.

A modelagem do litoral do norte-rio-grandense esteve sempre subordinada a um controle tectônico mais acentuado, associado a um regime climático gerador de um padrão de ventos e ondas praticamente unidirecionais, do quadrante SE, e transporte litorâneo de sul para norte (DINIZ & DOMINGUEZ, 1999, apud PIÉRRI 2008).

A plataforma continental, ao longo do litoral oriental potiguar, apresenta largura variável, mostrando-se mais larga na altura da Ponta do Calcanhar, estreitando-se para sul até defronte a cidade de Natal e, em seguida, sofrendo um suave alargamento até a região de Guaju, na fronteira com o Estado da Paraíba conforme apresentado na Figura 25 (DINIZ 2002).

Estudos realizados por Bittencourt *et al.* (2002) sobre as variações da deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral nordestino apresentaram para o litoral norte-rio-grandense valores de intensidade da deriva litorânea efetiva por unidade de área da ordem de 4242 em sentido S-N.

Diniz (2002) dividiu o litoral oriental do Rio Grande Norte em seguimentos onde foi determinado em cada um os valores da deriva litorânea. Na Tabela 3 a seguir são apresentados os dados referentes ao seguimento que compreende a área aqui em estudo correspondente à praia de Pirangi do Norte e adjacências.

Em estudos realizados para obtenção da intensidade da corrente marítima na plataforma continental do estado do Rio Grande do Norte Hazin *et al*. (2008) encontraram valores de intensidade da corrente variando entre 1,39cm/s e 24,92cm/s para medições realizadas no período seco – entre dezembro de 2001 e março de 2002. O valor médio obtido para a intensidade da corrente foi de 6,32cm/s com direção predominante para noroeste durante o período de análise.

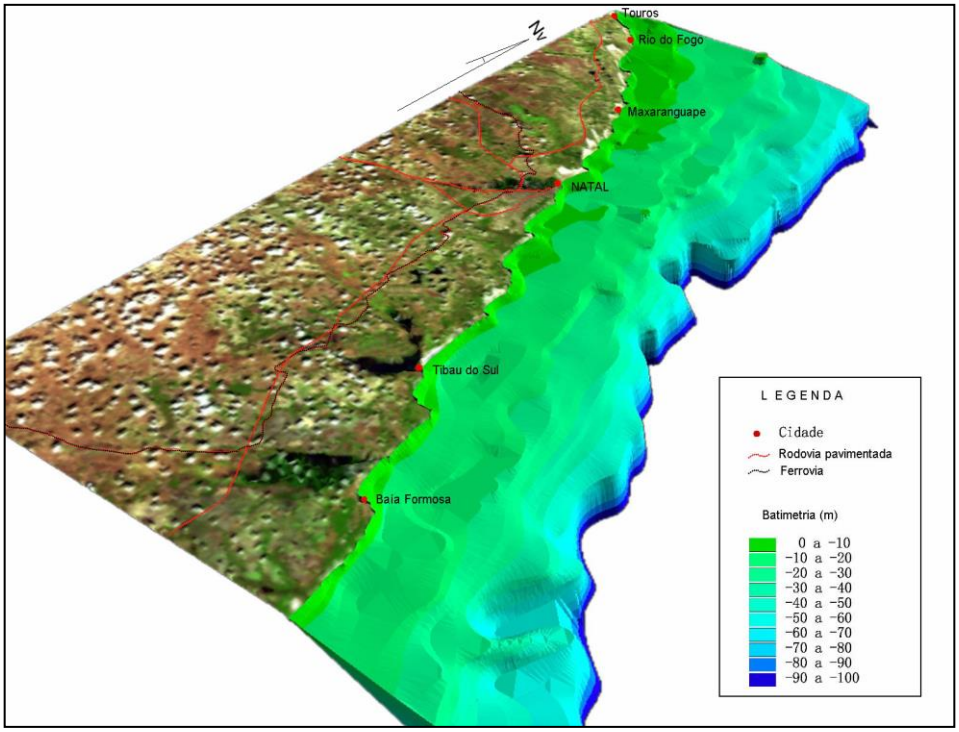


Figura 25 - Mapa batimétrico 3D da plataforma continental oriental do Rio Grande do Norte, evidenciando o seu baixo gradiente e alargamento nas imediações da cidade de Touros (DINIZ, 2002).

Tabela 3 - Intensidade da deriva litorânea efetiva para o segmento correspondente à área da praia de Pirangi do Norte (Adaptado de DINIZ, 2002).

Segmento	Origem da frente de onda	Altura da onda (m)	Ângulo de incidência (rad.)	Sentido da deriva	Intensidade da deriva	Incid. Anual (%)	Intens. da deriva X incid. anual	Intens. da deriva efetiva
Pirangi do norte	SE	0,8	1,2	SE-NW	21	48	987	2766 SE-NW
	E	1,0	1,2	SE-NW	32	46	1478	
	NE	1,0	0,8	SE-NW	50	6	300	

Em relação às marés na área de estudo, elas são classificadas, segundo classificação dada por Davies (1964) apud Piérri (2008), como micromarés (alturas variando entre 2 e 4m), com máximas de até 2,5m que chegam a atingir o sopé da falésia. Uma classificação dos ambientes costeiros feita a partir da relação entre as marés e as ondas é apresentada na Figura 26 a seguir.

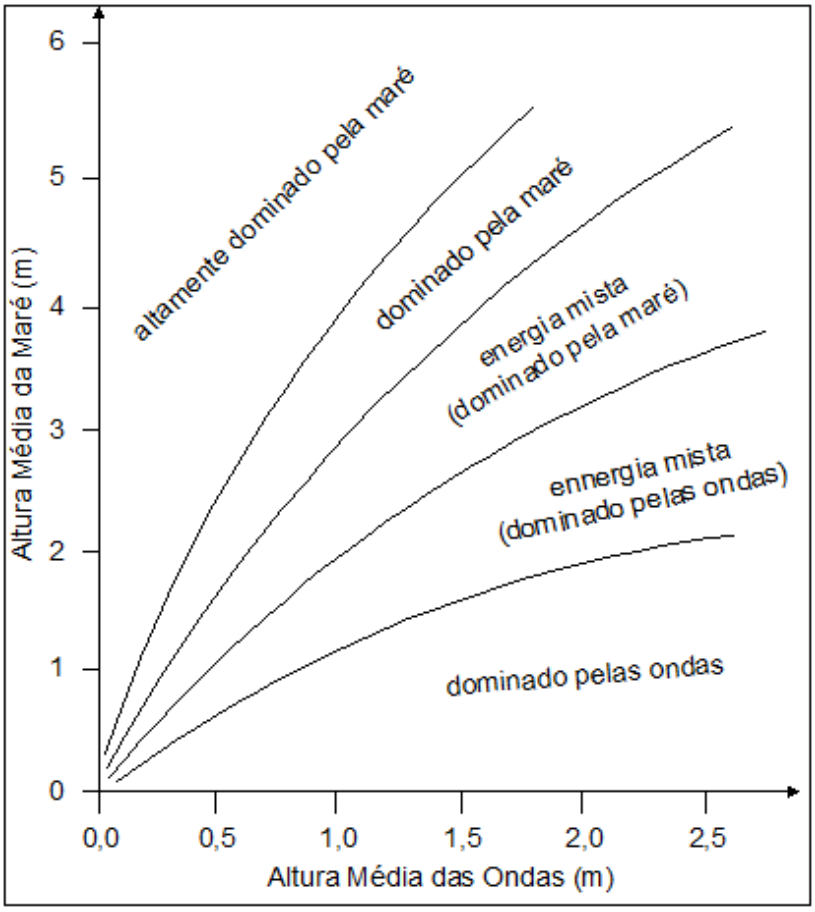


Figura 26 - Diagrama de classificação de costas, baseado na importância relativa da altura de maré e da altura das ondas (DAVIS & HAYES, 1984 apud. PIÉRRI, 2008).

Analisando este diagrama para a região costeira em estudo observa-se que a mesma é classificada como sendo de energia mista dominada pela maré com altura média de onda em torno de um metro e altura média da maré em torno de dois metros.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Introdução

4.2 Caracterização

4.3 Plano de monitoramento e planejamento

4.4 levantamento e coleta de dados

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Generalidades

Para um melhor entendimento deste estudo, a metodologia foi dividida conforme as etapas que foram seguidas durante o seu desenvolvimento. Inicialmente são apresentados os procedimentos adotados durante o planejamento das atividades de campo. As etapas de trabalho consistiram de:

- caracterização da área onde foram desenvolvidos mapas de uso do solo e de unidades geoambientais a partir de fotointerpretação e utilização de um checklist identificando visualmente as características físicas no local;
- planejamento dos levantamentos de campo onde foi feita a divisão dos trechos a serem estudados na área e a verificação do melhor dia e horário para a realização dos levantamentos;
- levantamento de campo dos perfis de praia e da linha de costa.

Em seguida são apresentados os métodos, materiais e softwares adotados no levantamento e processamento dos dados dos perfis e da linha de costa que tiveram início em novembro de 2004 e foram finalizados em dezembro de 2009.

4.2 Caracterização

Durante a etapa de caracterização da área foi realizada uma vistoria na área de estudo antes de serem iniciados os levantamentos de linha de costa e perfis. Nesta vistoria foram analisados os aspectos geoambientais e tipo de uso e ocupação local. Com o auxílio de um checklist foram demarcadas as características da área e por meio de fotografias aéreas fornecidas pelo IDEMA foram identificadas as feições geoambientais e as áreas ocupadas.

Durante a fase de caracterização visual da área foi utilizado um checklist adotado por Braga (2005) com o intuito de padronizar e organizar melhor as informações, facilitando e dinamizando a análise da área estudada (ver Tabela 04).

Tabela 4 - Checklist aplicado na área de estudo (Adaptado de BRAGA, 2005).

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO VISUAL	
Nome / lugar: **Subtrecho:** **Lua:**	
Data/horário: **Maré:**	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da falésia:	
Falésias vivas	
Falésias recuadas	
Dunas:	
Altura da falésia (aproximada)	
Vegetação e sua distribuição: ( ) Topo ( ) Face ( ) Base	
Uso da falésia: ( ) Acesso à praia; ( ) Mirante; ( ) Área de Preservação; ( ) outros	
Estruturas na falésia/dunas: Uso da propriedade: ( ) Moradia; ( ) Veraneio; ( ) Pousada; ( ) Comércio; ( ) Outros Qual a distância da estrutura até a borda da falésia/duna? (aprox)	
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz escoamento descontrolado pela face da falésia?	
Erosão pluvial?	
Contribuição na erosão superficial: ( ) Drenos; ( ) Irrigação; ( ) Outros	
Percolação da água subterrânea: Maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: ( )Tanques Sépticos; ( ) Irrigação ( ) Drenos; ( ) Piscinas; ( ) Outros	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	
Há deslizamentos ativos ou históricos?	
Qualquer outro tipo de movimento de massa? Qual?	
Ação da onda:	
Existe berma?	
Linhas de arenito na faixa de praia? Tipo:	
As ondas escovam o pé da falésia/	
Proteção no pé da falésia/duna? Tipo:	
Há alguma obra de controle de erosão? Tipo:	
A obra causa mais erosão?	
Observações:	

4.3 Planejamento dos levantamentos de campo

O Plano de Monitoramento foi realizado considerando as seguintes atividades:

a) divisão da área em estudo em 3 trechos, oeste, central e leste, de acordo como é apresentado na Figura 27;

b) levantamento da base da falésia fazendo uso do Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS) anualmente;

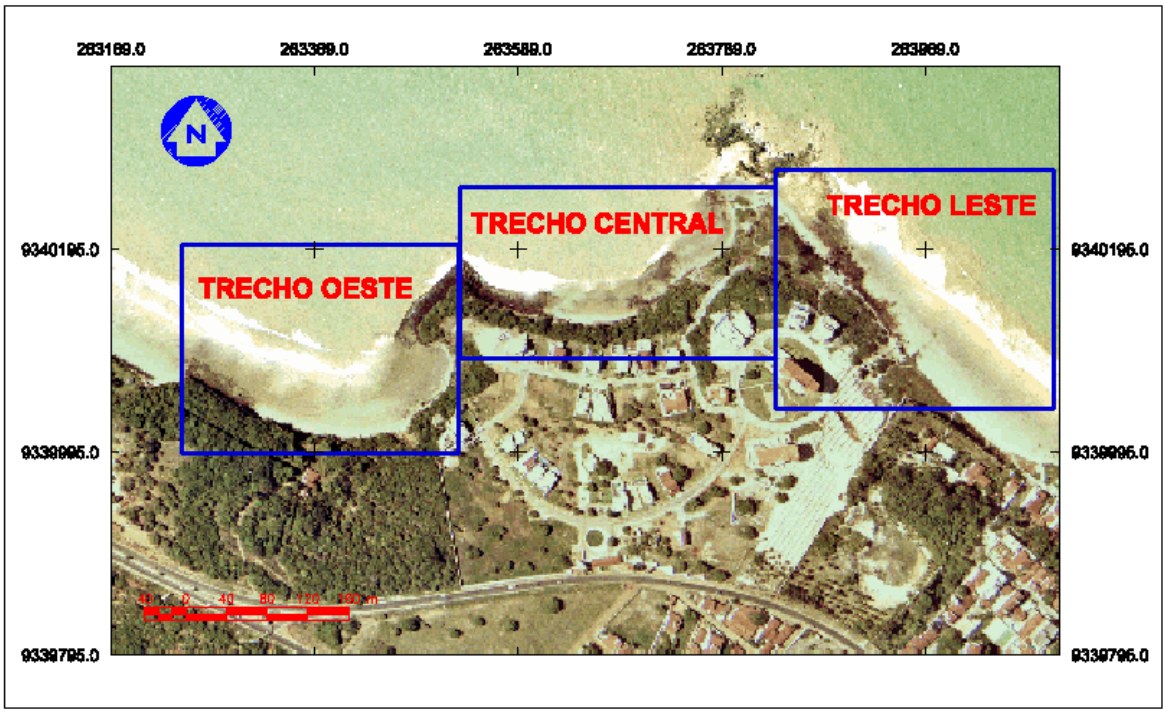


Figura 27 - Localização dos trechos da área em estudo.

c) levantamento de perfis de praia para a avaliação da dinâmica de engordamento e erosão na faixa de praia;

d) coleta de amostras dos sedimentos de praia com vistas à avaliação das características de granulometria;

Durante a fase de planejamento, antes de cada campo, foram levadas em consideração as melhores condições de distribuição dos satélites sobre a área a ser levantada, observando, nas áreas com ocorrência de falésias, as obstruções de sinal causadas por estas feições devido à sombra que elas geram sobre o receptor GPS.

Com as coordenadas do local e o posicionamento e altura do objeto causador do sombreamento (as falésias) e fazendo uso de um almanaque que

contém todas as efemérides dos satélites foi possível determinar no módulo planejamento da missão do programa Ashtech Solution 2.6 o melhor horário para executar o levantamento no dia escolhido, considerando o PDOP (Diluição da Precisão no Posicionamento) mais baixo e a maior quantidade possível de satélites.

Nas Figura 28 e Figura 29 a seguir são apresentadas, respectivamente, as quantidades de satélites disponíveis para a área de levantamento considerando a obstrução representada na Figura 30 com altura em torno de 5m e azimute à direita variando entre 90º e 270º com o norte. A Figura 29 também apresenta os horários com maior disponibilidade (availability) de satélites e melhor PDOP. A correlação entre as duas informações mostrará o melhor horário para o levantamento, considerando um número de satélites acima de 5 e um PDOP abaixo de 4. Os mesmos gráficos foram determinados antes dos campos anteriores.

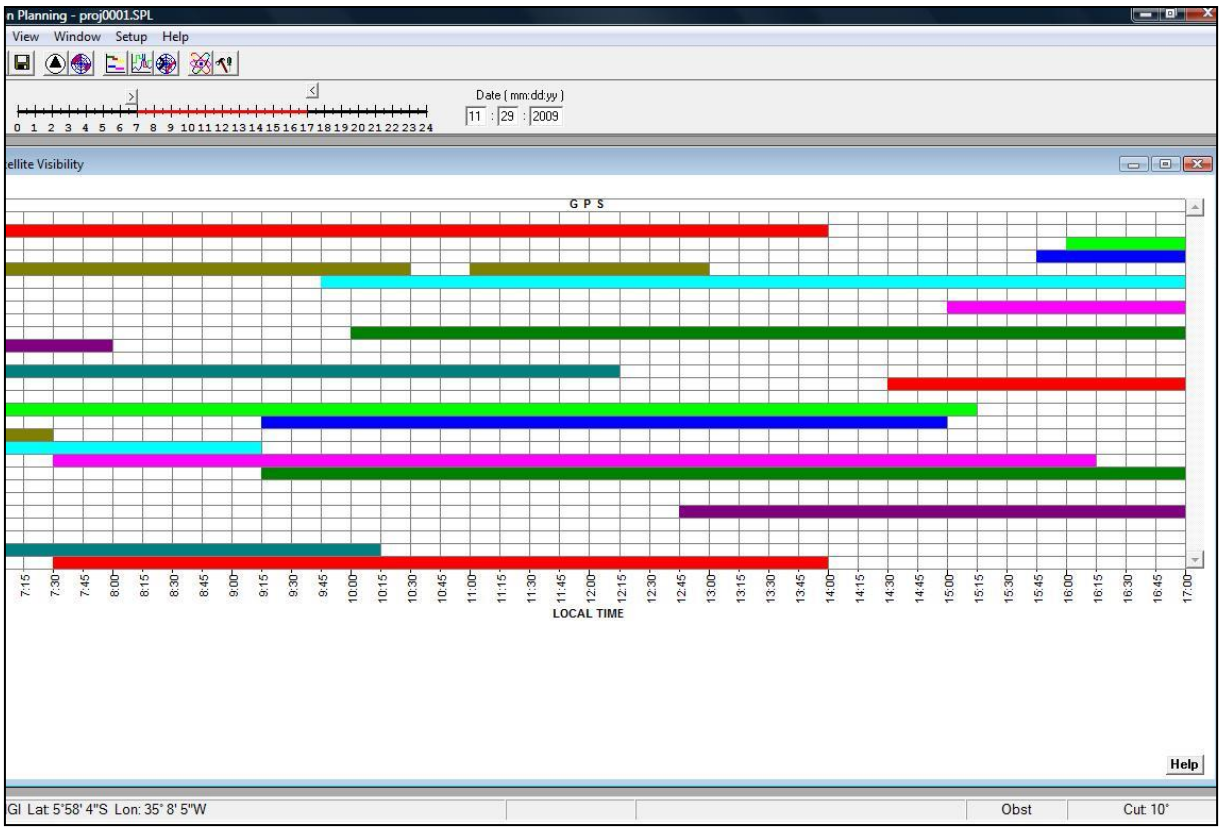


Figura 28 - Quantidade de satélites disponíveis na área de estudo para o dia 29 de nov. de 2009, entre às 7h e 17h.

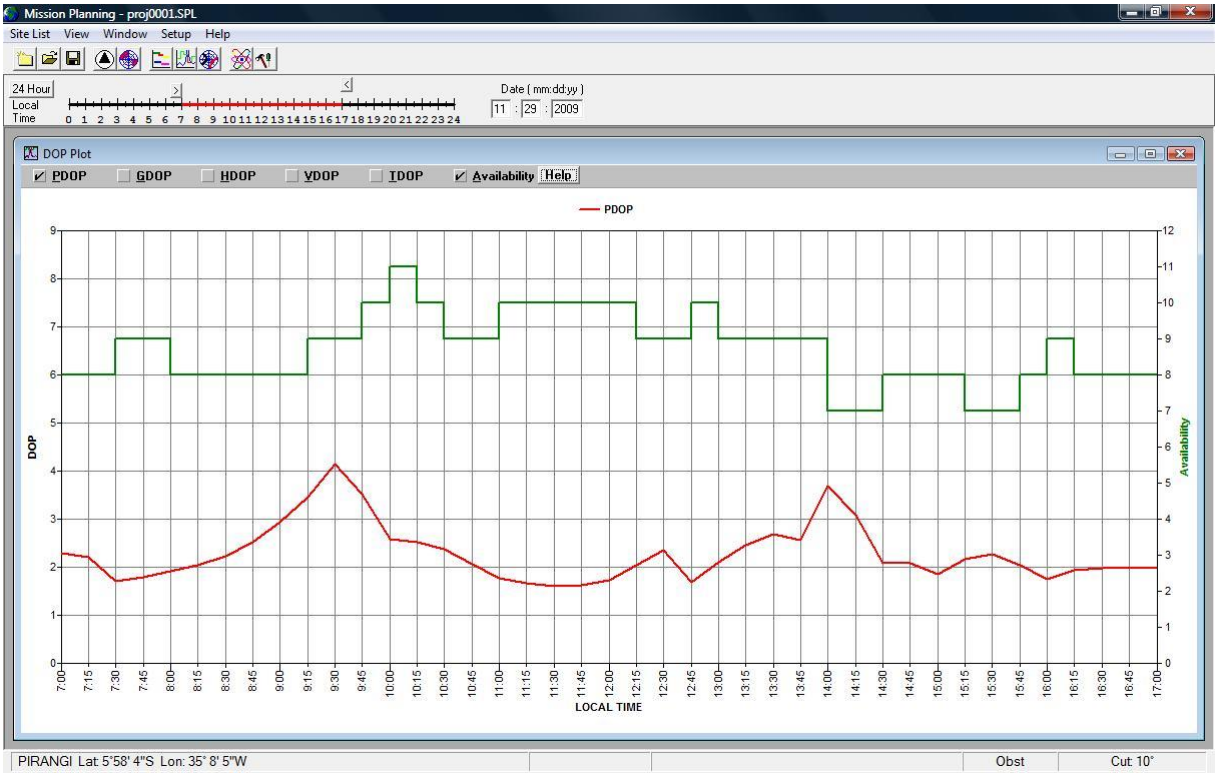


Figura 29 - Distribuição do PDOP durante o horário considerado para levantamento. Em verde a disponibilidade de satélites (availability) e em vermelho o PDOP.

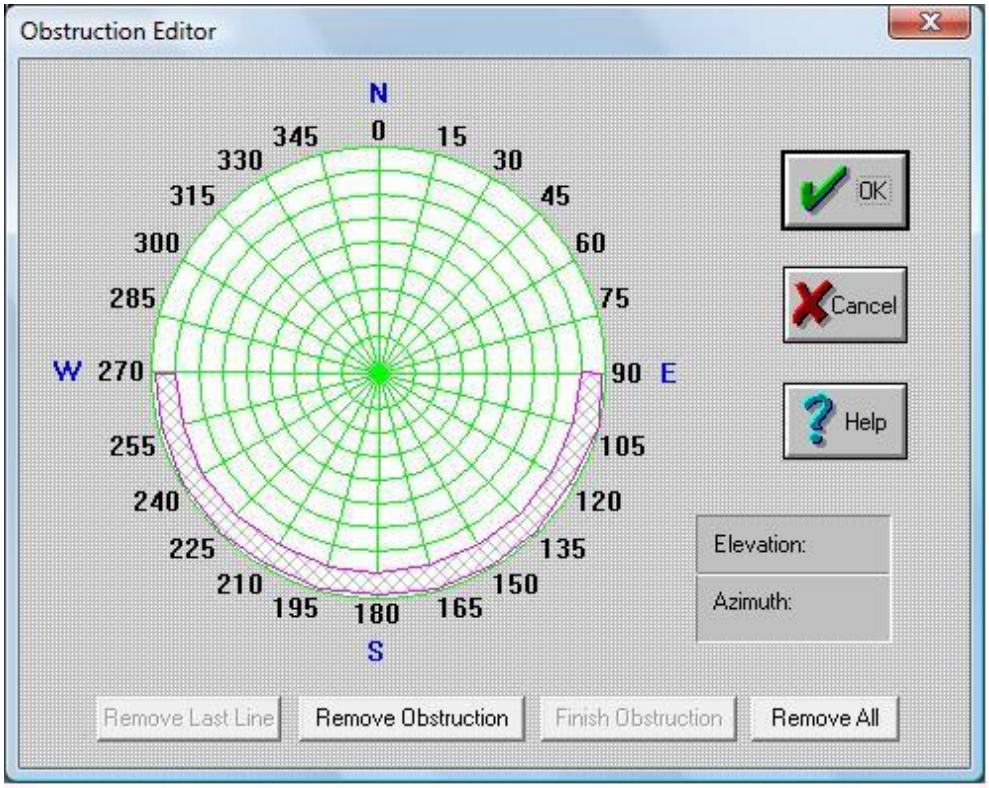


Figura 30 - representação da obstrução do sinal.

4.4 Levantamento e Coleta de Dados

4.4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do levantamento da linha de costa e dos perfis de praia foi utilizado o GPS topográfico da marca Ashtech Promark 2 da Thales Navigation com resolução centimétrica em modo Diferencial (DGPS). Foram utilizados dois equipamentos GPS. Um foi colocado como base coletando os dados dos satélites no modo estático a cada 5 segundos (ver Figura 31) e outro fazendo a coleta no modo cinemático (caminhando junto à linha do sopé) igualmente a cada 5 segundos conforme apresentado na Figura 32.

Figura 31 - GPS Promark 2 sendo instalado em modo estático na base de coordenadas conhecidas (BASE 01- em frente ao condomínio).

Figura 32 - Receptor GPS móvel levantando pontos do sopé da falésia em modo cinemático.

O GPS base apresentado na Figura 31 foi colocado em todos os levantamentos em um marco com coordenadas conhecidas localizado na entrada de um condomínio residencial próximo a área de estudo (ver Figura 33).

Para ter acesso à praia foi necessário passar por dentro da área do condomínio, sendo então necessário obter a autorização do mesmo. Devido à dificuldade apresentada para se obter esta autorização, no último levantamento de campo foi preciso transportar a base para um ponto localizado fora da área de estudo, mas com acesso livre à praia. Esta nova base foi implementada próxima ao trecho leste. Para ter acesso ao trecho leste pela praia foi necessário percorrer uma trilha subindo a duna por entre a vegetação – único acesso sem passar pela área do condomínio – área de acesso restrito aos moradores (ver Figura 35). Para não perder sinal com a base 02 devido à vegetação fechada foi necessário estabelecer uma nova base (BASE 03) dentro da área do trecho leste e a partir dela executar o levantamento da linha de costa neste trecho (ver Figura 34).

Figura 33 - Localização das bases usadas como apoio topográfico e perfis de praia.

Figura 34 - (A) Base 2 próxima ao trecho leste; (B) Base 03 próxima ao trecho oeste. Campo de nov. 2009.

Figura 35 - Restrição ao acesso e escadaria.

Foram realizados cinco perfis sendo dois no trecho leste, um no trecho central e dois no oeste, todos fazendo uso do DGPS (ver Figura 33). Os levantamentos dos perfis foram realizados nas seguintes datas: agosto de 2005, setembro de 2005, novembro de 2005 e julho de 2006.

Foram coletadas 10 amostras de sedimento da zona de praia (ver Figura 36), sendo duas para cada perfil (uma amostra na parte seca e outra na parte

molhada da praia), com o intuito de verificar a variação da granulometria dos sedimentos ao longo dos perfis e dos trechos da praia, bem como correlacioná-la com a declividade e altura de onda local.

Figura 36 - Coleta de amostras de sedimento nos perfis de praia.

Os aspectos mapeados foram correlacionados com a presença de elementos de proteção da linha de costa, com eventos climáticos, presença de vegetação, dentre outros.

4.4.2 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS – SOFTWARES

4.4.2.1 Ashtech Solutions

O Ashtech Solutions versão 2.6 da Thales Navigation funciona sob os sistemas Windows 95, 98, 2000 e NT 4.0P.

Este programa compreende módulos destinados à ajudar em todas as etapas do planejamento e do pós-processamento de um levantamento GPS. São estes:

- planejamento da missão;
- regulação do receptor;
- transferência de dados;
- cálculo de vetores;
- ajustamento de redes;

- análise de qualidade;
- transformação de coordenadas;
- criação de relatório;
- exportação de dados.

Ashtech Solutions compreende um sistema de detecção de aberrações afim de garantir um processamento correto desde a primeira utilização. Ao curso do processamento o programa apresenta continuamente um gráfico que dá uma apresentação real do trabalho realizado sobre o terreno (ver Figura 37).

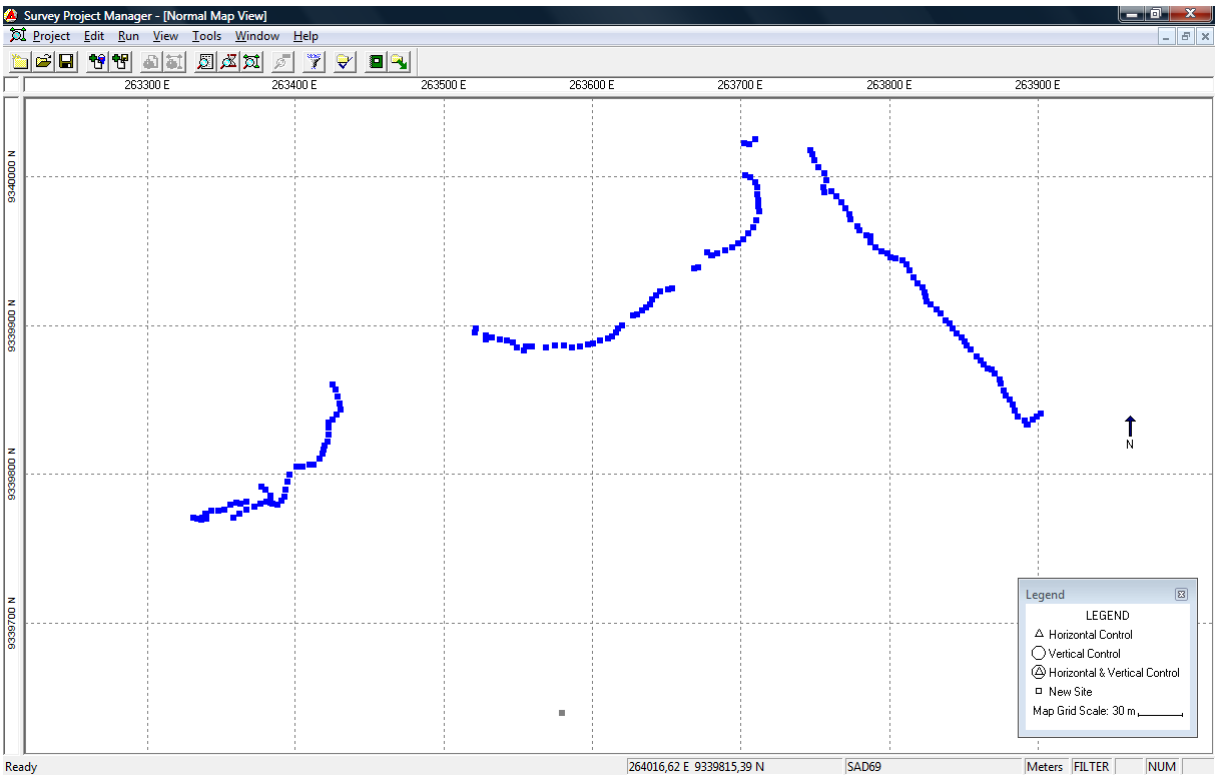


Figura 37 - Visão gráfica dos pontos levantados pelo GPS - Ashtech Solutions 2.60.

4.4.2.2 SPRING

Como um sistema de geoprocessamento o SPRING não é simplesmente um sistema computacional projetado para fazer mapas, embora ele possa criar mapas em diferentes escalas, em diferentes projeções e com diferentes cores, ele é, principalmente, uma ferramenta de análise que auxilia na tomada de decisões.

O produto SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas) é um banco de dados geográfico de 2º geração, desenvolvido

pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para ambientes UNIX e Windows. Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;

Dentro de um mesmo banco de dados o usuário tem a possibilidade de criar vários projetos em sistemas diferentes ou usando o mesmo sistema de coordenadas, independentes uns dos outros, bem como compartilhar dados entre projetos diferentes (INPE, 2006).

Definir um esquema conceitual no SPRING significa definir um Banco, um Projeto, as Categorias e os Planos de Informações (PI’s) adequadamente.

Muitas são as funcionalidades do SPRING, desde a simples geração de mapas, processamento digital de imagens (PDI) até funções de análises e consulta espacial.

Neste trabalho ele é usado como ferramenta para geração de mapas contendo os dados de Linha de Costa e perfis transversais de épocas diferentes. Ele foi também usado no georreferenciamento de fotografias aéreas da área e elaboração de mapa de uso e ocupação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Generalidades

5.2 Caracterização geoambiental e de uso e ocupação

5.3 levantamento da linha de costa

5.4 levantamento de perfis de praia

5.5 Sugestões de mitigação de processos erosivos

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Generalidades

Os resultados aqui apresentados serão divididos de acordo com os três levantamentos que foram realizados: caracterização, levantamento da linha de costa e levantamento dos perfis transversais à linha de costa.

Serão discutidos separadamente os resultados obtidos em cada levantamento para cada trecho da área de estudo (Oeste, Central e Leste).

5.2 Caracterização Geoambiental e de Uso e Ocupação

Durante a análise geoambiental da área foi observada por meio de fotografia aérea e verificação in loco a presença de falésias vivas ao longo de alguns trechos, limite entre os tabuleiros costeiros da formação barreiras e a região de praias arenosas comportando ao longo de seu comprimento arenitos ferruginosos e arenitos de praia. A Figura 38 a seguir apresenta um mapa com as principais unidades geoambientais encontradas na área.

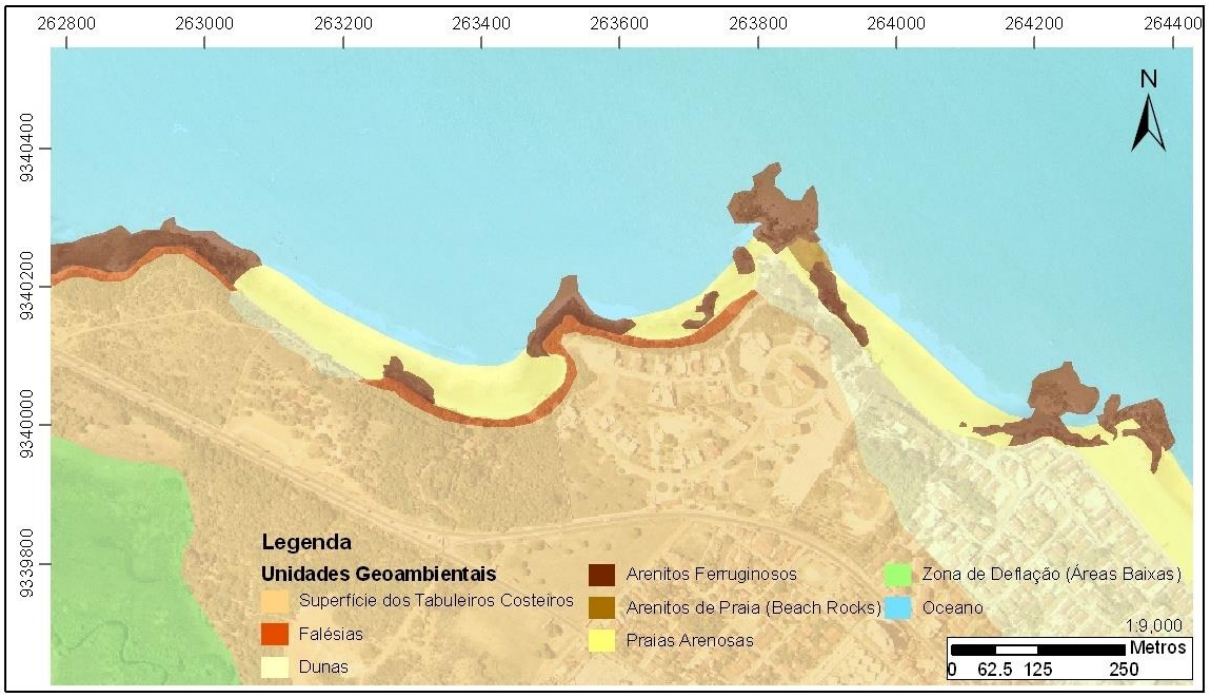


Figura 38 - Unidades Geoambientais.

A área de estudo compreende em sua grande parte uma cobertura de vegetação típica de dunas e falésias vivas (em contato direto com o mar) cobertas em sua borda e face por vegetação densa conforme apresentado nas Figura 39 e Figura 40.

Figura 39 - Vegetação de duna e falésias com vegetação no topo - observar a presença de edificações próximas à linha de costa.

Figura 40 - Mapa de vegetação.

Verifica-se a presença de cobertura vegetal natural e também espécies nativas implantadas. Na face e na borda das falésias pode-se encontrar uma vegetação mais densa com presença de cajueiros e vegetação de restinga em alguns pontos.

Em relação ao tipo de sedimento de que é composta a praia, em estudos feitos por Diniz (2002) através da coleta de amostras de areia ao longo do litoral oriental norte-rio-grandense, foram observadas dentro da área de estudo deste

trabalho (Pirangi) a presença de areias com granulometrias média e fina. Essa classificação foi comprovada por coletas realizadas dentro do trecho estudado seguidas dos ensaios granulométricos.

Essa área é foco de diversos empreendimentos imobiliários e possui uma forte ocupação a linha de costa. A influência antrópica sobre a região aumenta continuamente conforme se pode verificar no mapa de uso representado na Figura 41 a seguir. Com o aumento desta procura por um espaço na zona costeira os valores dos lotes seguem o mesmo aumento, juntamente com diversos problemas de infra-estrutura que acabam por gerar problemas com a sustentabilidade do ambiente costeiro.

Figura 41 - Mapa de uso e ocupação da área em estudo.

As Tabelas 5, 6 e 7 a seguir apresentam os checklists realizados na área de estudo com vistas a fazer uma identificação visual das características físicas e processos erosivos atuantes na área.

Tabela 5- Checklist aplicado no trecho oeste

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO VISUAL	
Nome / lugar: Pirangi **Subtrecho: oeste** **Lua: cheia**	
Data: 14/11/2004 **Maré: cheia**	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da falésia:	
Falésias vivas	sim
Falésias recuadas	não
Dunas:	não
Altura da falésia (aproximada) 4-6m	
Vegetação e sua distribuição: (x) Topo (x) Face ( ) Base	
Uso da falésia: ( ) Acesso à praia; (x) Mirante; ( ) Área de Preservação; ( ) outros	
Estruturas na falésia/dunas: Uso da propriedade: (x) Moradia; ( ) Veraneio; ( ) Pousada; ( ) Comércio; Qual a distância da estrutura até a borda da falésia/duna? (aprox)	5-30m
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz escoamento descontrolado pela face da falésia?	sim
Erosão pluvial?	sim
Contribuição na erosão superficial: (x) Drenos; ( ) Irrigação; ( ) Outros	
Percolação da água subterrânea: Maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: (x)Tanques Sépticos; ( ) Irrigação (x) Drenos; ( ) Piscinas; (x) Outros	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	sim
Há deslizamentos ativos ou históricos?	sim
Qualquer outro tipo de movimento de massa? Qual? tombamentos	sim
Ação da onda:	
Existe berma?	não
Linhas de arenito na faixa de praia? Tipo:	sim
As ondas escovam o pé da falésia/	sim
Proteção no pé da falésia/duna? Tipo:	não
Há alguma obra de controle de erosão? Tipo:	não
A obra causa mais erosão?	-----
Observações: O trecho apresentou em toda sua extensão vegetação densa e raízes expostas descendo para a praia, além dos processos erosivos de tombamentos de blocos e solapamento do sopé da falésia.	

Tabela 6 - Checklist aplicado no trecho central

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO VISUAL	
Nome / lugar: Pirangi **Subtrecho: central** **Lua: cheia**	
Data: 14/11/2004 **Maré: cheia**	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da falésia:	
Falésias vivas	sim
Falésias recuadas	não
Dunas:	não
Altura da falésia (aproximada) 4-6m	
Vegetação e sua distribuição: (x) Topo (x) Face ( ) Base	
Uso da falésia: ( ) Acesso à praia; (x) Mirante; ( ) Área de Preservação; ( ) outros	
Estruturas na falésia/dunas: Uso da propriedade: (x) Moradia; ( ) Veraneio; ( ) Pousada; ( ) Comércio; Qual a distância da estrutura até a borda da falésia/duna? (aprox)	5-30m
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz escoamento descontrolado pela face da falésia?	sim
Erosão pluvial?	sim
Contribuição na erosão superficial: (x) Drenos; ( ) Irrigação; ( ) Outros	
Percolação da água subterrânea: Maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia: (x)Tanques Sépticos; ( ) Irrigação (x) Drenos; ( ) Piscinas; (x) Outros	
Há superfícies úmidas na face da falésia?	sim
Há deslizamentos ativos ou históricos?	sim
Qualquer outro tipo de movimento de massa? Qual? tombamentos	sim
Ação da onda:	
Existe berma?	não
Linhas de arenito na faixa de praia? Tipo:	sim
As ondas escovam o pé da falésia/	não
Proteção no pé da falésia/duna? Tipo: arenito ferruginoso	sim
Há alguma obra de controle de erosão? Tipo: longitudinal aderente (paredão)	sim
A obra causa mais erosão? Nas laterais	sim
Observações: O trecho apresentou em toda sua extensão vegetação densa e raízes expostas descendo para a praia, além dos processos erosivos de tombamentos de blocos.	

Tabela 7 - Checklist aplicado no trecho leste

CHECKLIST DE CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO VISUAL	
Nome / lugar: Pirangi **Subtrecho: leste** **Lua: cheia**	
Data: 14/11/2004 **Maré: cheia**	
CARACTERIZAÇÃO DO SUBTRECHO	
Caracterização da falésia:	
Falésias vivas	não
Falésias recuadas	não
Dunas:	sim
Altura da falésia (aproximada) não se aplica	
Vegetação e sua distribuição: (x) Topo (x) Face (x) Base	
Uso da falésia/duna: ( ) Acesso à praia; (x) Mirante; ( ) Área de Preservação; ( ) outros	
Estruturas na falésia/dunas: Uso da propriedade: (x) Moradia; ( ) Veraneio; ( ) Pousada; ( ) Comércio; Qual a distância da estrutura até a borda da falésia/duna? (aprox)	5-30m
IDENTIFICAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO SUBTRECHO	
Escoamento superficial:	
Existe uma planície que produz escoamento descontrolado pela face da falésia/duna?	sim
Erosão pluvial?	sim
Contribuição na erosão superficial: (x) Drenos; ( ) Irrigação; ( ) Outros	
Percolação da água subterrânea: Maneiras que a água é infiltrada no topo da falésia/duna: (x)Tanques Sépticos; ( ) Irrigação (x) Drenos; ( ) Piscinas; (x) Outros	
Há superfícies úmidas na face da falésia/duna?	sim
Há deslizamentos ativos ou históricos?	sim
Qualquer outro tipo de movimento de massa? Qual?	não
Ação da onda:	
Existe berma?	não
Linhas de arenito na faixa de praia? Tipo:	sim
As ondas escovam o pé da falésia/	não
Proteção no pé da falésia/duna? Tipo:	não
Há alguma obra de controle de erosão? Tipo:	não
A obra causa mais erosão?	-----
Observações: Foram observadas saídas de águas pluviais para a praia.	

5.3 Levantamento da Linha de Costa

O levantamento da linha de costa com uso do DGPS só foi possível após se averiguar o melhor horário em que a constelação de satélites sobre a área estaria em boas condições de geometria (PDOP) e quantidade. Em cada levantamento essas informações foram observadas antes, sempre considerando nos trechos com falésias a sombra causada por elas. Verificou-se durante o levantamento que, no horário escolhido, as informações sobre os satélites calculadas pelo programa Ashtech Solutions 2.6 para aquela hora e local foram confirmadas in loco no receptor GPS.

Desta forma a data e o horário dos levantamentos ficaram sempre condicionados à análise prévia dos satélites e da maré local (nunca coincidindo com a preamar máxima do mês).

O primeiro levantamento dos pontos do sopé da falésia foi realizado em novembro de 2004. Os demais foram em agosto de 2005, julho de 2006, novembro de 2008 e novembro de 2009 seguindo sempre a mesma metodologia.

A análise dos levantamentos da linha de costa mostra que ocorreram alguns processos erosivos (recuos) localizados principalmente no trecho oeste e pequenos recuos no trecho central.

Observando isoladamente as informações obtidas com o levantamento por DGPS verifica-se um possível acréscimo de costa em alguns trechos. Analisando estas informações in loco foi observado que em alguns casos estes possíveis acréscimos correspondem na realidade ao depósito de materiais no sopé da falésia decorrente da erosão da face ou da borda da mesma, causados por escorregamentos, tombamento e queda de material. Nestes dois últimos casos, o material depositado no sopé da falésia, por ter maior resistência (blocos de rochas destacados da falésia), permanece por mais tempo no local sem serem transportados pela ação das marés.

5.3.1 TRECHO OESTE

O trecho Oeste, com extensão de aproximadamente 390m, apresenta uma escarpa vertical na parte inferior, seguido de um talude com menor inclinação na parte superior onde foi observada a presença de uma vegetação densa com árvores de médio porte como cajueiros dentre outras (Figura 42).

Verificou-se a ocorrência de pequenos deslizamentos e quedas de blocos, além do indício da ação do mar descalçando o sopé da falésia.

Os processos atuantes na parte superior deste trecho estão relacionados a movimentos superficiais localizados associados à erosão e escorregamentos rasos em áreas não vegetadas.

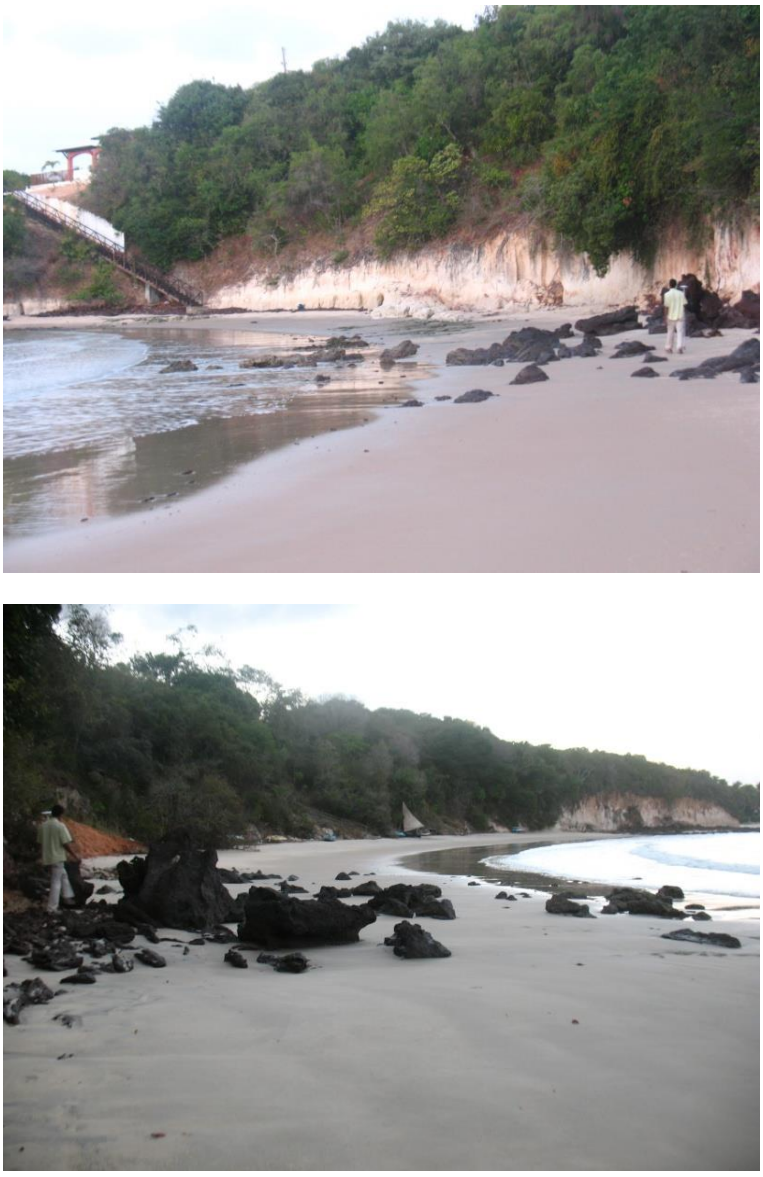


Figura 42- Trecho oeste da área de estudo.

Indícios de raízes expostas de árvores foram observados neste trecho (ver Figura 43), indicando a existência de processos de movimento de massa ocorrentes na falésia, provavelmente ocasionados pela ação das águas pluviais combinado com a carga exercida pelas edificações localizadas na borda do tabuleiro costeiro.

Figura 43 – Raízes expostas de árvores sobre a encosta – Nov. de 2004.

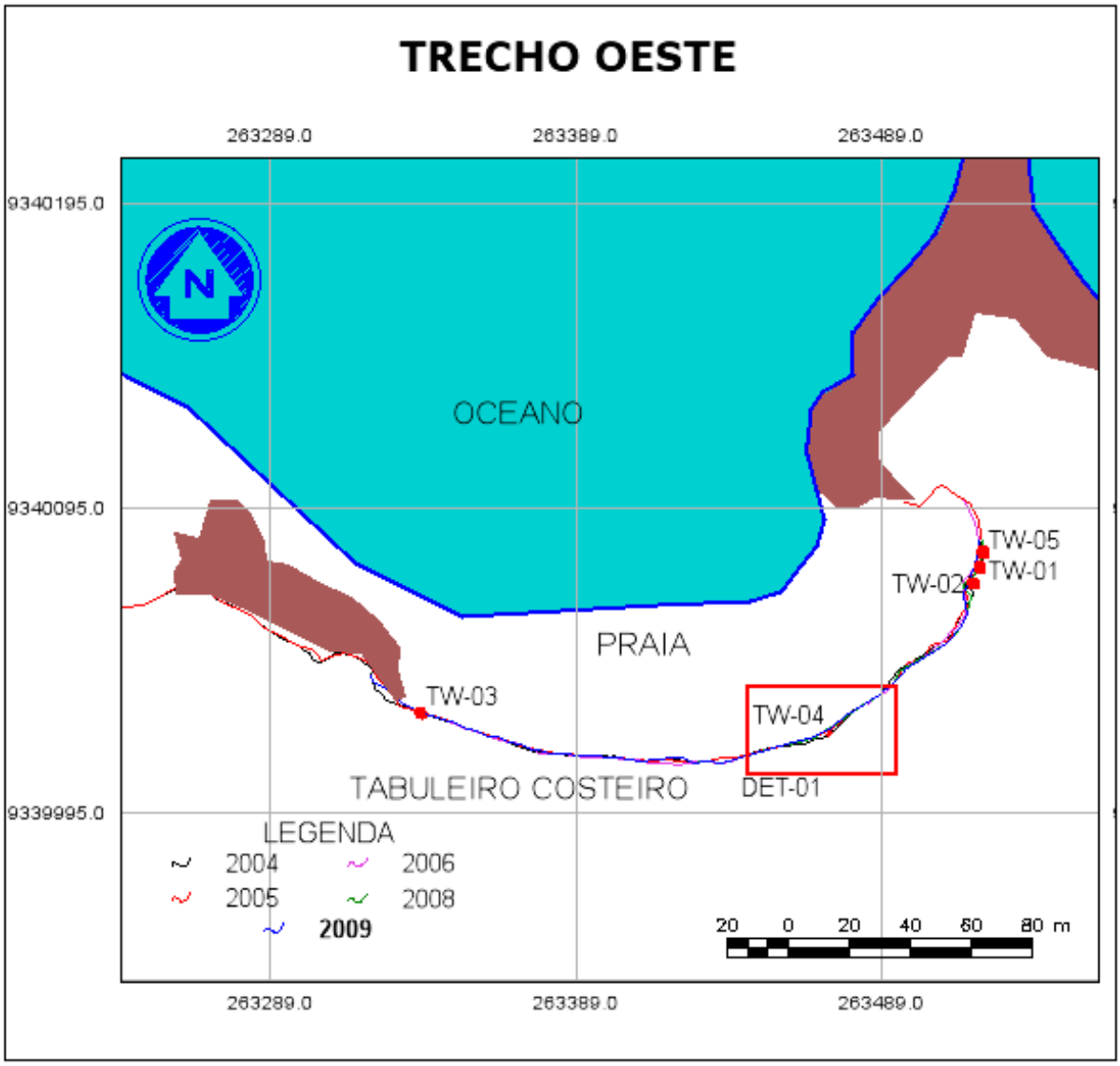


Figura 44 - Levantamentos do sopé da falésia no trecho oeste com indicação de pontos erodidos.

Os pontos mostrados na Figura 45 como TW–01 à TW–05 indicam a localização dos locais onde foi observada a presença de processos erosivos ao longo do trecho.

Durante o levantamento foram observados pontos onde houve tombamento de blocos (ver pontos TW-01, TW-02 e TW-03) e pontos com ocorrência de deslizamentos (ver ponto TW-04, Figura 46). A Figura 46 abaixo apresenta os processos erosivos visualizados nos pontos TW-01, TW-02 e TW-03.

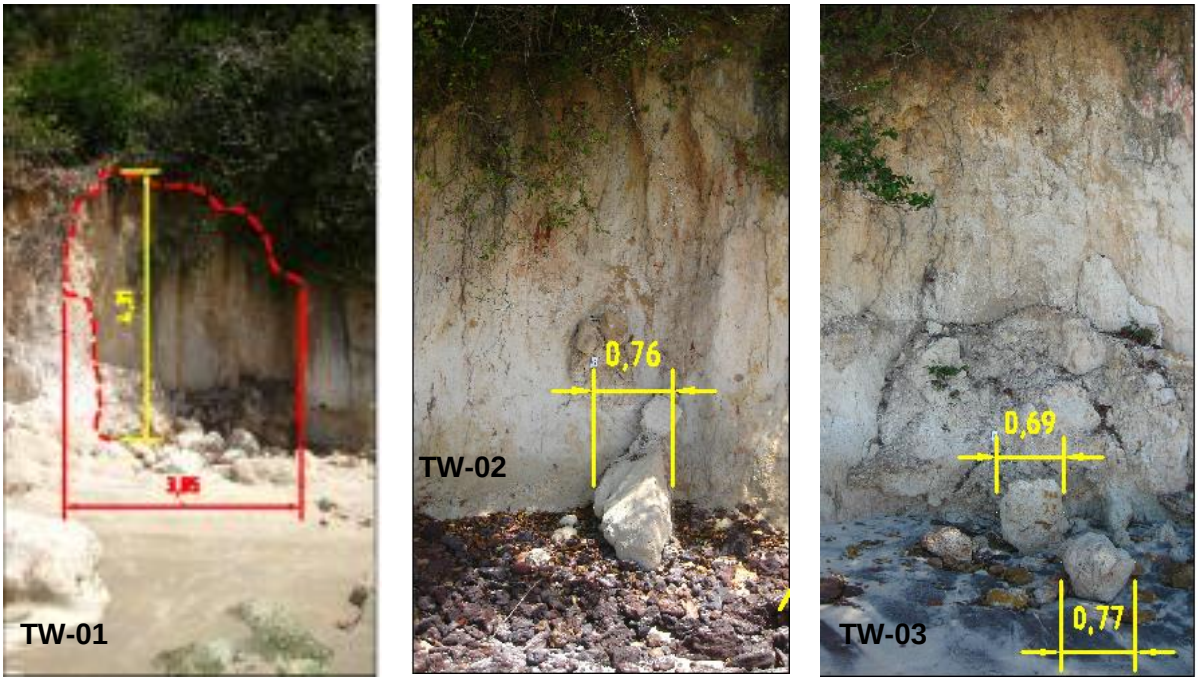


Figura 45- Quedas de blocos da face da falésia – pontos TW-01, TW-02 e TW-03

Figura 46 - Ocorrência de deslizamentos em 2004 e 2008 – ponto TW-04.

Foram observados também indícios de erosão no ponto TW-05 através do solapamento (descalçamento) do sopé da falésia causado pela ação direta do mar, que em períodos de preamar máxima alcança o sopé (ver Figura 47.). Esse processo contínuo acaba acarretando a queda de blocos provenientes da face da falésia.

Figura 47 - Solapamento do sopé da falésia - ponto TW-05.

A Figura 48 a seguir apresenta em uma escala maior o detalhe DET01 indicado na Figura 44 Observa-se, analisando o levantamento por DGPS isoladamente, que neste ponto do trecho oeste houve um recuo em 2005 e um posterior avanço em 2008 da costa em direção ao mar. No entanto, verificando a situação in loco vista na Figura 46, pode-se ver que o que ocorreu na verdade foi um deslizamento em 2004 de material das construções próximas à borda da falésia proveniente de empréstimo. Em 2005 este material foi removido pela ação das marés e reposto novamente em 2008.

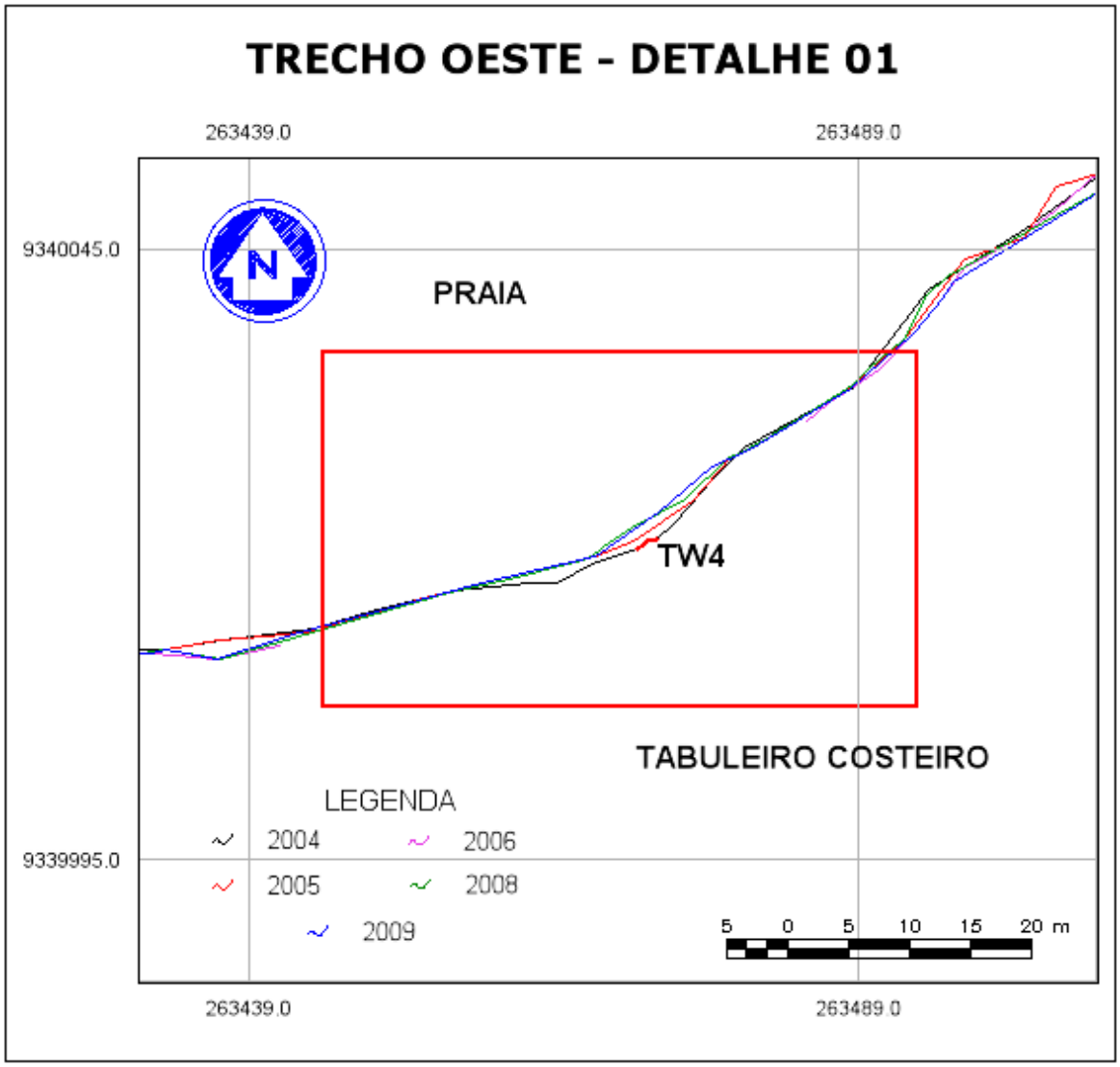


Figura 48 - Detalhe DET 01 - possível erosão - trecho oeste.

Em análise aos dados pluviométricos fornecidos pela EMPARN (2009) verifica-se que os anos de 2004 e 2008 obtiveram os maiores valores totais de chuva e tiveram como meses de maiores precipitações os meses de Junho e Julho, anteriores à data de levantamento. Este fato leva a crer que as chuvas podem ter levado o material depositado próximo à borda da falésia para o seu sopé. Sendo assim, não houve nenhum recuo nem avanço de costa em relação ao mar neste ponto específico.

5.3.2 TRECHO CENTRAL

O trecho central, com extensão de aproximadamente 313m, apresenta feições semelhantes às do trecho leste. Com uma escarpa vertical na parte inferior, seguido de um talude com menor inclinação na parte superior coberto por uma vegetação densa com árvores de médio porte como cajueiros dentre outras (Figura 49). A vegetação neste trecho ocupa quase que toda a face da falésia e em alguns pontos foram observadas árvores na faixa de praia conforme apresentado na Figura 50 a seguir.

Também foram observados neste trecho alguns processos erosivos como deslizamentos e quedas de blocos.

Figura 49 - Trecho Central.

Figura 50 - Descida de árvores para a faixa de praia - trecho central. nov. 2009.

No trecho central a presença de arenitos ferruginosos dispostos longitudinalmente ao longo da zona de praia é maior do que no trecho oeste e serve como proteção natural da linha de costa contra a ação erosiva do mar. Atentar também para a presença de diversas edificações localizadas próximo à borda da encosta.

A Figura 51 a seguir apresenta os levantamentos da linha de costa realizados neste trecho em 2004, 2005, 2006, 2008 e 2009, onde são indicados os pontos de ocorrência de processos erosivos – TC-01 à TC-03 (ver Figura 52 e Figura 53).

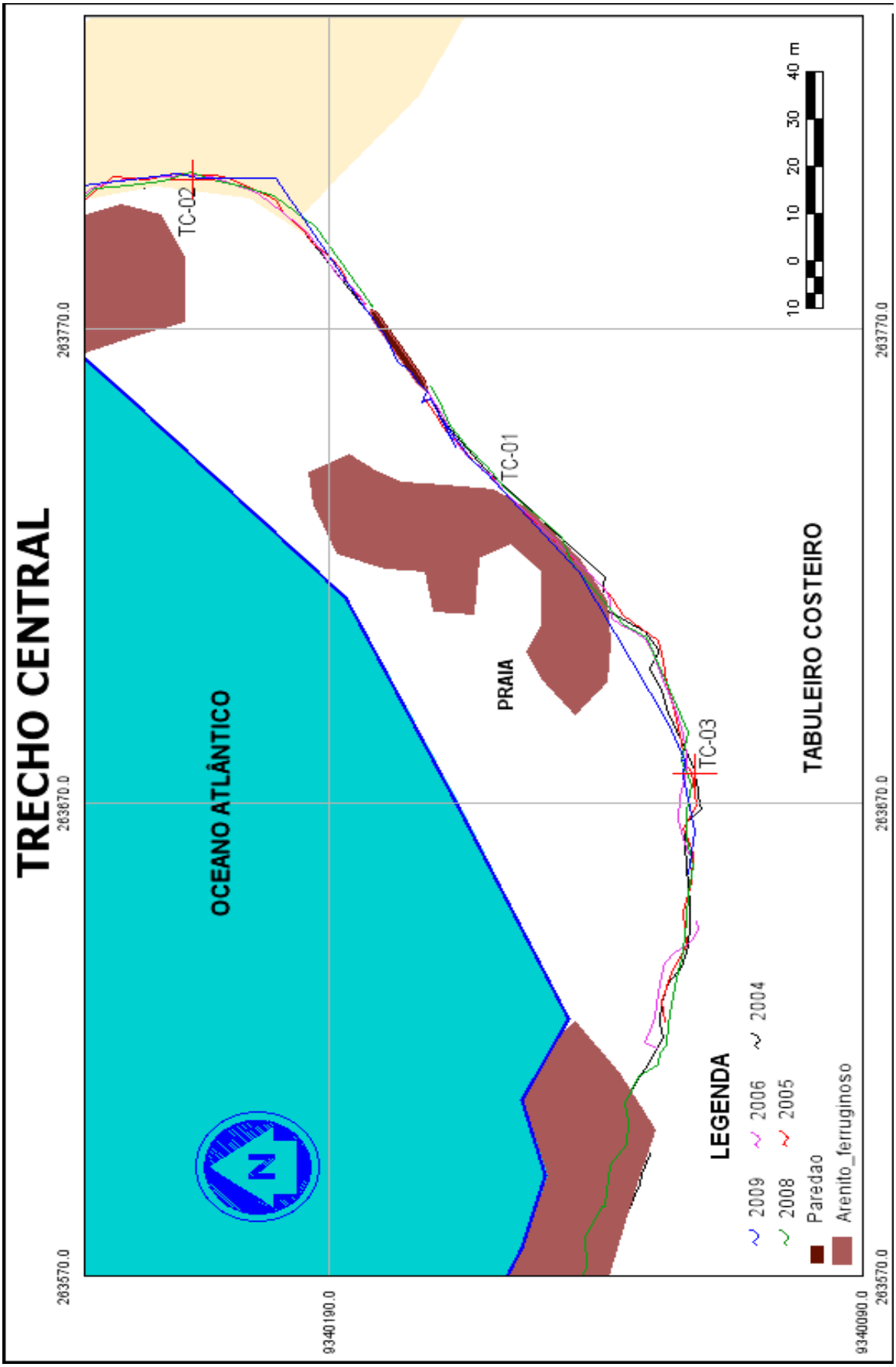


Figura 51 - Levantamento dos pontos da linha de costa - trecho central.

Figura 52 - Queda de bloco - trecho central. Nov. 2009.

Figura 53 - Deslizamento de material - nov. de 2004.

Verificou-se neste trecho a utilização de uma obra de defesa do tipo longitudinal aderente (paredão), indício de que houve algum tipo de deslizamento de material da encosta no local (Figura 54).

Figura 54 - Obra longitudinal aderente (paredão) protegendo a linha de costa – trecho central.

Acima do paredão, na borda do talude, encontra-se uma cortina de contenção executada por causa de uma rua que passa por sobre a borda da encosta. Na lateral do paredão ocorre forte erosão da encosta, característica deste tipo de obra longitudinal.

5.3.3 TRECHO LESTE

No trecho leste a linha de costa encontra-se parcialmente protegida da ação do mar por recifes de arenito de praia e arenitos ferruginosos da Formação Barreiras, como mostra a Figura 55, de forma que no nível atual de levantamento não foram observados processos erosivos costeiros.

O perfil deste trecho é caracterizado pela presença de dunas com vegetação rasteira, limitando o fim da costa e início da praia (ver Figura 57).

Figura 55 - Fotografia aérea oblíqua do trecho leste obtida antes de 2004.

Figura 56 - Inicio do Trecho leste em novembro de 2009.

Figura 57 - Caracterização do perfil do trecho leste.

Verifica-se a ocorrência de um avanço de aproximadamente 8m, conforme indicado no mapa de levantamento da linha de costa (ver Figura 58), causado por ações antrópicas através do depósito de areia e paralelepípedo em frente a uma saída de águas pluviais (Figura 59). Com a ampliação da área construída sobre a área de duna, foi aberta uma nova saída de águas pluviais em outro ponto mais a leste (ver Figura 60).

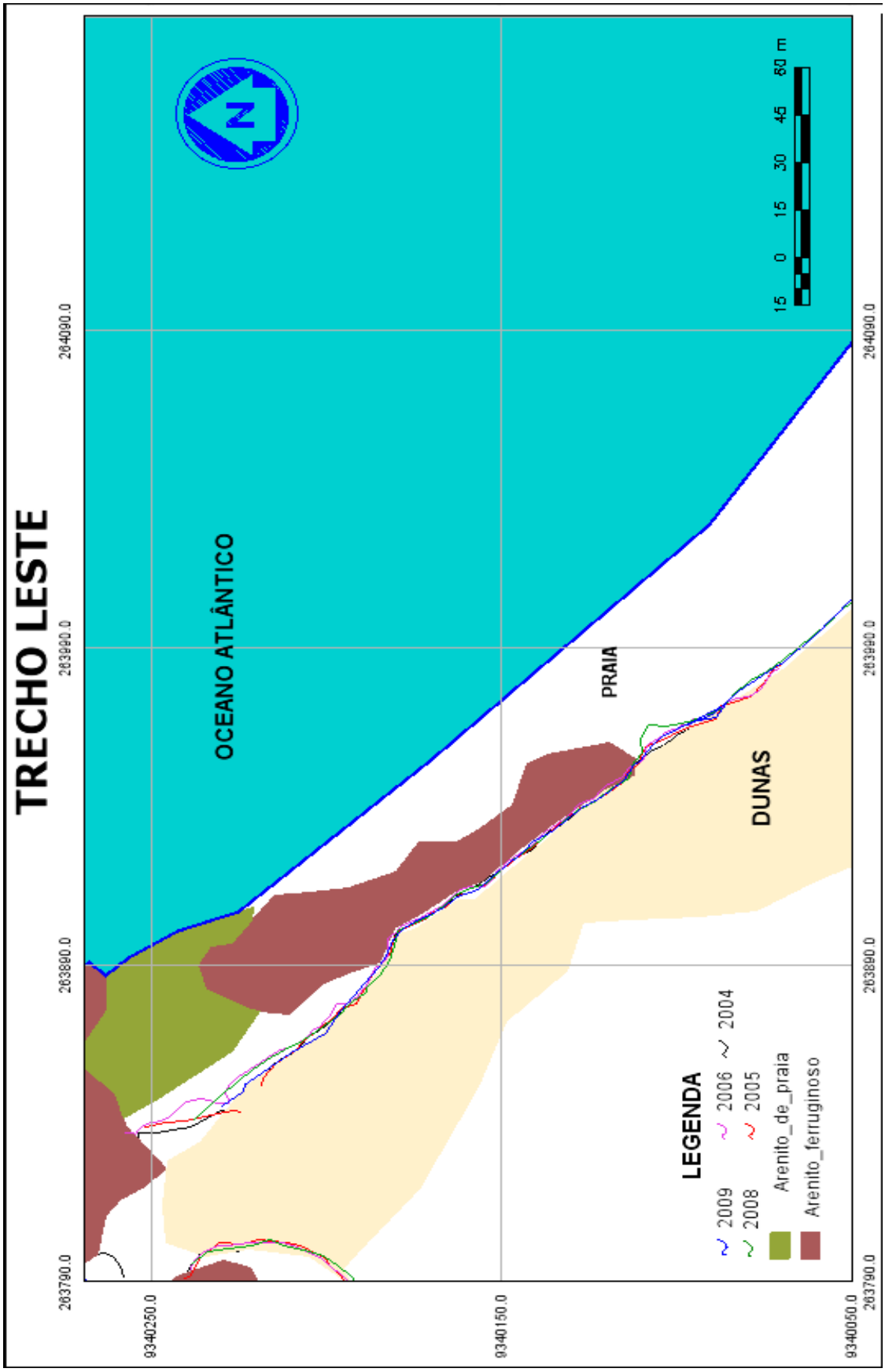


Figura 58 - Variação da Linha de costa do trecho leste.

Novembro 2004 **Novembro 2009**

Figura 59 - Saída de águas pluviais - ponto TL-01.

Figura 60 - Nova saída de águas pluviais - ponto TL-02.

5.3.4 ANÁLISE DO LEVANTAMENTO DA LINHA DE COSTA

Depois de finalizados os levantamentos de campo e analisando os dados verificou-se que esta análise feita somente sobre os dados coletados com o DGPS é insuficiente para identificar precisamente se está ou não ocorrendo processos de erosão na área. A ambigüidade é normalmente encontrada em pontos onde ocorreu o depósito de material erodido da falésia no sopé da mesma, onde, nestes casos, imagina-se que houve um avanço de costa em relação ao mar. Através da verificação visual foi observado que a predominância é de processos que contribuem para o recuo da costa (erosão). Por ter uma maior proteção natural ao longo da faixa de praia longitudinal à linha de costa com a presença de arenitos, o trecho oeste foi o que apresentou os menores índices de erosão.

Outro inconveniente observado no levantamento por DGPS nesta área foi em relação à grande presença de vegetação na borda e face das falésias. Mesmo prevendo a sombra que seria causada pela falésia e escolhendo os horários com melhor disposição de satélites, não foi possível evitar em alguns pontos a perda de

sinal do GPS móvel com o GPS base devido à vegetação densa encobrindo a linha de costa e em alguns casos obstruindo a passagem pela mesma. Os dados (coordenadas) obtidos nestes pontos não foram processados e, portanto, não corrigidos pela posição da base, tornando-se dados de coordenadas absolutas com baixa precisão (na ordem de 3m) em relação às coordenadas relativas (diferencial) obtidas por meio de correção com a base que têm precisão submétrica.

Na Figura 61 a seguir é apresentado o gráfico extraído do programa de processamento de dados de GPS, Ashtech Solutions, onde podem-se observar os pontos que não foram processados em vermelho (coordenadas absolutas) e os pontos processados em azul.

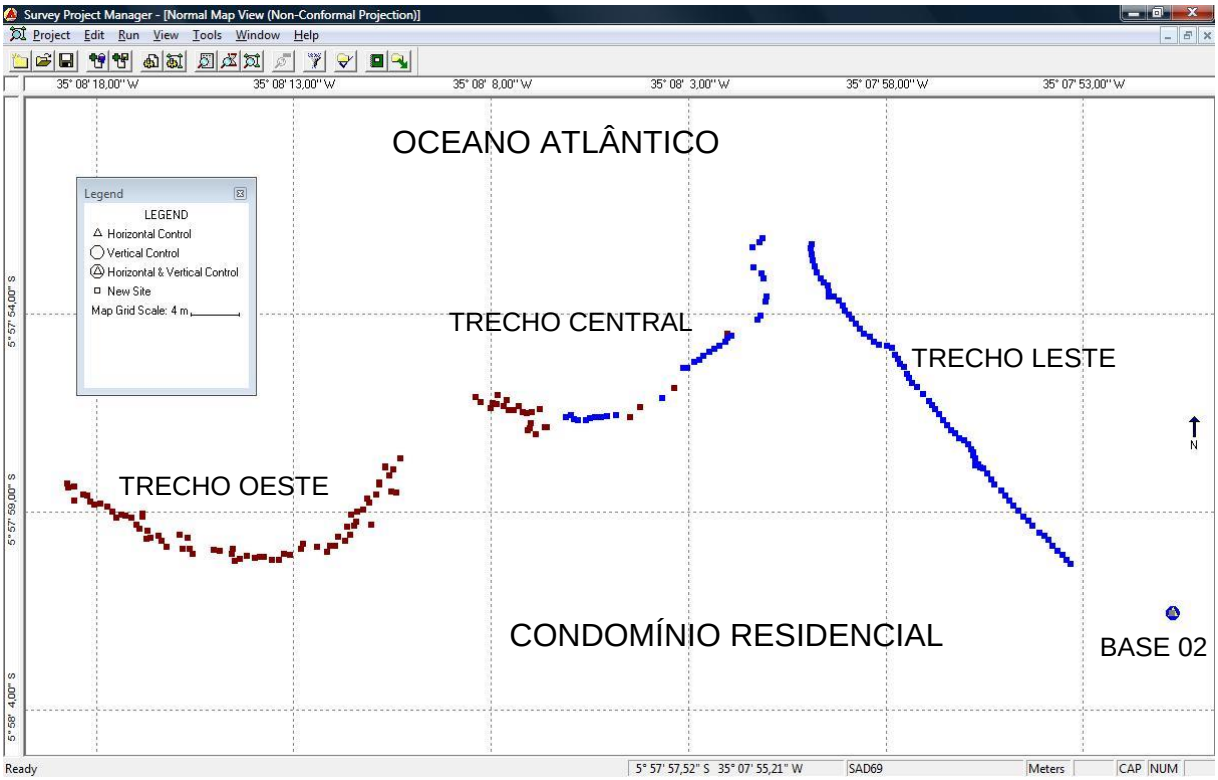


Figura 61 - Grafico do programa Ashtech Solutions 2.6 com indicação dos pontos processados (em azul) e os pontos não processados (em vermelho) – levantamento em novembro de 2009.

Devido ao fato de o acesso ao trecho oeste pela praia passar por uma trilha com vegetação fechada, os sinais com a base GPS foram totalmente perdidos durante a passagem por esta trilha. Com isso os dados coletados neste dia no trecho oeste não foram processados e portanto invalidados. Para obter o levantamento deste trecho sem acessar o condomínio residencial foi preciso instalar

uma terceira base no trecho leste e a partir desta coletar os dados da linha de costa no trecho oeste.

O processo de recuo é lento. Analisando os levantamentos realizados, observou-se que a vegetação densa nos trechos com falésia garante sua resistência ao recuo em relação ao mar. Sem esta vegetação o processo erosivo poderia se tornar mais rápido. Mesmo assim ele não está totalmente excluído e prossegue lentamente ao longo da linha de costa, seja através de tombamentos e quedas de blocos ou deslizamentos de material arrastando a vegetação para a zona de praia.

Em anexo foram acrescentadas as plantas correspondentes aos levantamentos dos três trechos em escala maior.

5.4 Levantamento de Perfis de Praia

5.4.1 LEVANTAMENTOS E COLETA DE AMOSTRAS

No que diz respeito aos perfis de praia, observou-se uma maior dinâmica no trecho leste como pode-se ver nos perfis 1 e 2 (Figura 62) e central representado pelo perfil 3 (Figura 63). O que pode-se verificar é que nestes trechos as ondas do mar têm uma influência mais direta sobre a praia levando ao acréscimo ou retirada (erosão) de sedimentos que chegam a variar em até 1,5m aproximadamente. Este fato não ocorre no trecho oeste onde os perfis não apresentaram uma variação significativa (Figura 64).

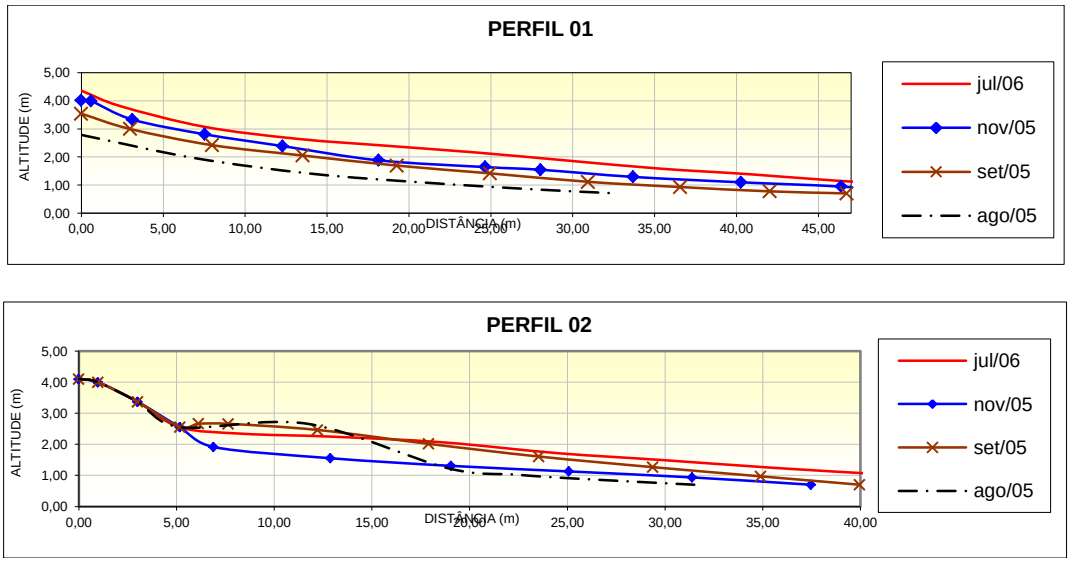


Figura 62 - Trecho leste - perfis de praia.

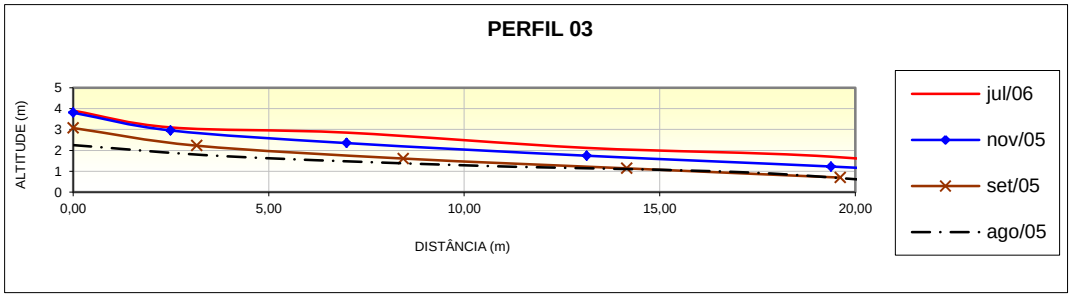
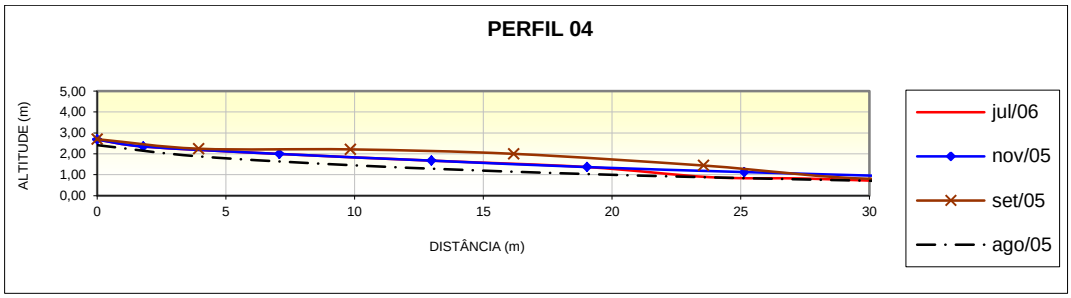


Figura 63 - Trecho central - perfil de praia.



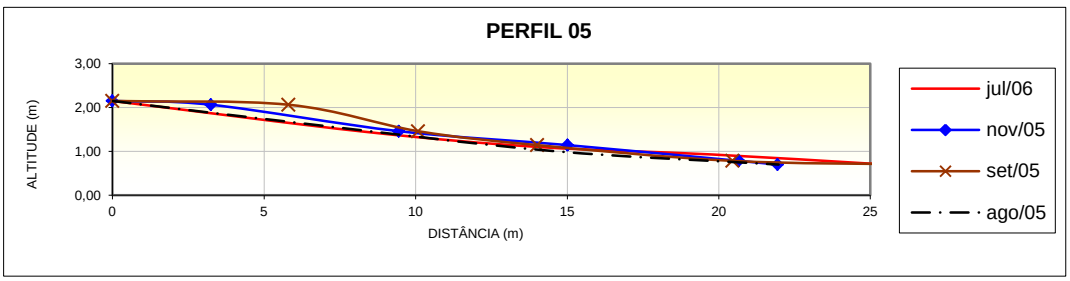


Figura 64 - Trecho oeste - perfis de praia.

Os resultados dos ensaios de granulometria realizados nos sedimentos de praia mostraram que estão presentes na área, areias finas e médias. O diâmetro efetivo (d10) varia de 0,08 a 0,18mm e o diâmetro d60 varia de 0,17 a 0,30mm. Esses aspectos resultam em coeficientes de não uniformidade (Cu) variando de 1,31 a 2,25 indicando que a areia é uniforme.

5.4.2 ANÁLISE DOS PERFIS DE PRAIA

Sabe-se que a resultante anual entre erosão e acréscimo da quantidade de areia é praticamente nula. No entanto, dentro do período de observações dos perfis de praia, foi observado que no trecho central, ao longo de todo o seu perfil (perfil 03), obteve-se mais acréscimo do que nos outros trechos. Nos perfis 04 e 05 do trecho oeste foi verificado o menor acréscimo. Em relação ao trecho leste verificou-se a ocorrência de acréscimo e erosão no perfil 02 e somente acréscimo no perfil 01.

Para entender estes diferentes processos erosivos ao longo da área de estudo, são necessários se conhecer algumas características físicas do local, tais como: a direção e intensidade de corrente longitudinal, a quantidade de material transportado, a disposição geográfica do trecho, dentre outros. O transporte de sedimento a ser desempenhado pela deriva litorânea é bastante influenciado por fatores como o ângulo de incidência das ondas, o seu tamanho, a batimetria local e o tipo de sedimento a ser transportado.

Analisando-se a partir da Tabela 3 apresentada por Diniz (2002) que contém as características das ondas para a área de estudo, observa-se que as frentes de onda com origem de leste possuem maior altura, maior ângulo de incidência e maior intensidade da deriva versus incidência anual. Sendo assim os perfis 01 e 02 no trecho leste, com orientação SE-NW, sofrem mais com a ação das ondas, ocasionando uma maior variação entre acréscimo e erosão. O perfil 03 no trecho central, com orientação E-W é mais resguardado em uma enseada limitada pelas pontas do flamengo a leste e de cotovelo a oeste, não sofre muita influência das correntes que têm direção resultante para noroeste, nem da deriva litorânea com resultante SE-NW. Desta forma o acúmulo de sedimento neste trecho é maior do que a retirada (erosão).

5.5 Sugestões de Mitigação de Processos Erosivos

Em análise aos levantamentos realizados verificou-se que o trecho leste não apresentou grandes indícios de erosão devido à sua proteção natural com recifes de arenito dispostos longitudinalmente à linha de costa.

Os trechos central e oeste foram os que apresentaram maior erosão caracterizadas por tombamentos de blocos das falésias, escorregamentos de sedimentos e vegetação da encosta e erosão na base das falésias. Soluções não estruturais como a determinação de faixa não edificável seriam ideais caso já não houvesse ocupações humanas próximas à borda do tabuleiro costeiro. Algumas recomendações para a mitigação dos riscos de deslizamentos e proteção da linha costeira podem ser adotadas, tais como: providenciar recomposição da vegetação na parte superior da encosta nos locais desmatados; promover a adequada

drenagem na parte superior da falésia, com o objetivo de evitar que as águas provenientes do terreno a montante se dirijam para a superfície da encosta, causando erosão superficial; refinar as análises de estabilidade das falésias, envolvendo investigações de campo, para a obtenção de parâmetros de resistência e deformabilidade dos solos mais realistas.

Analisando as opções de obras de defesa do litoral contra erosão verifica-se que algumas seriam inaplicáveis na área de estudo.

As obras longitudinais aderentes (paredões) impedem a ação das ondas no sopé da falésia. No entanto elas apresentam, além do inconveniente estético, limitações no que diz respeito à erosões na base ou em suas laterais que ficam desprotegidas. Como exemplo pode-se observar no trecho central este tipo de obra protegendo uma área limitada e causando erosão nas laterais.

Os espigões poderiam ser aplicados no local, mas segundo a literatura eles são mais indicados em áreas que contém um forte transporte de sedimentos litorâneo, que não é o caso do trecho em estudo onde, com a construção de espigões, correria-se o risco de aumentar a erosão. No entanto é necessária uma análise mais refinada das condições oceanográficas do local para averiguar a possível aplicabilidade deste tipo de obra.

Outra obra mencionada na literatura são os quebra-mares. Estes agem em geral destacados da costa e longitudinalmente dissipando a energia das ondas antes que elas atinjam a praia. Esse tipo de obra é geralmente muito cara devido a grande profundidade que elas se encontram. Sendo assim, não se considera conveniente utilizá-la, principalmente em locais que possuem ondas com pouca energia.

A alimentação artificial da praia é considerada, dentre as obras aqui citadas, a que mais se adéqua à área de estudo. Considerada mundialmente na literatura como a melhor defesa contra a erosão costeira por não representar uma obra estranha ao ambiente, ela consiste em realizar o suprimento de areia da praia com material adequado advindo de áreas de empréstimo. Segundo Alfredini (2005), os efeitos não previstos desse tipo de obra, também chamada de engordamento da praia, podem até favorecer áreas adjacentes por meio do excessivo arrastamento das areias.

Recomenda-se, antes de se pensar em adotar qualquer tipo de obra, que sejam feitos estudos mais aprofundados sobre as falésias locais, sua composição e estabilidade. Além disso, é importante dar continuidade ao monitoramento dos processos erosivos com o intuito de acompanhar a evolução ou não dos mesmos ao longo do tempo.

Levando-se em consideração os problemas obtidos durante a análise isolada dos dados do levantamento da linha de costa, outros métodos de monitoramento podem ser considerados para esta área.

Collins & Sitar (2008) adotam como metodologia de monitoramento da erosão em falésias o uso de um *laser scan* que escaneia a face da falésia em diferentes períodos de tempo partindo sempre de um mesmo ponto de coordenadas conhecidas. Esse método é bastante útil em falésias com ausência de vegetação, no entanto não se aplicaria a área de estudo deste trabalho, tendo em vista que ocorre uma grande vegetação sobre a face das falésias. Essa vegetação seria escaneada pelo aparelho e daria uma interpretação errada da forma da face da falésia.

Outro método mais eficaz e com um custo não tão elevado seria utilizar estações totais acopladas com GPS e sensores fotográficos capazes de fotografar cada ponto topográfico levantado em períodos diferentes.

O uso de radar para determinar as feições das falésias é talvez o mais eficaz mesmo em áreas densamente vegetadas, no entanto ter-se-ia um custo bem mais elevado em relação aos outros métodos.

6. Conclusões

6 CONCLUSÕES

Analisando o monitoramento ao longo de um período de cinco anos dos processos erosivos atuantes no trecho de aproximadamente 1km da praia de Pirangi do Norte, litoral sul do estado do Rio Grande do Norte, verificou-se a ocorrência de variações consideráveis da linha de costa ocasionadas por diversos processos erosivos identificados in loco.

O método de monitoramento por DGPS mostrou-se eficiente em alguns aspectos como a velocidade de obtenção dos dados e a possibilidade de analisá-los diretamente sobre um sistema de coordenadas georreferenciado. No entanto, mesmo controlando a sombra causada pelas falésias sobre os sinais GPS, não foi possível contornar os obstáculos gerados pelas vegetações ocorrentes no sopé ou no trecho vertical dos perfis das falésias. Isso leva a conclusão de que, em áreas com este nível de dificuldade, se faz necessária a consideração de outros métodos de levantamento da linha de costa que possam eliminar esse tipo de obstáculo.

No sentido de proteger a falésia é essencial a manutenção da vegetação, a sua reposição onde ocorrerem erosões e escorregamentos superficiais e a observação contínua da sua base. A ação de ondas e correntes em seu sopé pode alterar sua geometria e conseqüentemente a sua estabilidade. Da mesma forma, é essencial a proteção da parte superior do terreno, evitando-se construções nas proximidades da borda superior e impedindo o escoamento de águas pluviais na direção da encosta.

Os escorregamentos superficiais, assim como os processos erosivos pluviais e costeiros devem ser observados, pois com o tempo podem degradar essa condição de estabilidade. É importante a continuação do monitoramento no sentido de verificar a ocorrência de um novo ciclo de deslizamento, deposição na base e remoção do material, bem como aprofundar os estudos sobre a estabilidade e composição das falésias locais.

Os processos erosivos são naturais em zonas costeiras e podem seguir equilibradamente quando não se tem a presença humana para interferir sobre esse equilíbrio natural. O homem é na verdade um ser estranho e nocivo ao ambiente

quando tende a agir de forma insustentável e egoísta, pensando somente em seu bem estar e conforto pessoal. Um grande empecilho encontrado nesta área de estudo e também em diversos pontos do litoral brasileiro foi o livre acesso à praia. Isso dificultou bastante o trabalho, tendo-se que optar por outras soluções de acesso menos convenientes.

Espera-se que este trabalho venha a contribuir para melhorar esse tipo de situação em áreas costeiras e possa servir para auxiliar em outros trabalhos que tenham como objeto de estudo a erosão costeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDINI, P. *Obras e Gestão de Portos e Costas*. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

AMARAL, R. F.; SANTOS Jr., O. F.; MENDONÇA, F. J. B.; MEDEIROS Jr, E. *A Utilização de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato no Monitoramento da Falésia de Tabatinga* In Anais III Congresso e Feira para Usuários em Geoprocessamento, 1997, (Em Cd-Room), Curitiba, Maio. 1997.

ASHTECH – Promark 2. *User manual*. Thales Navigation, 2002.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; SILVA, I. R.; SOUSA, D. L. *A Significant Longshore Transport Divergence Zone at the Northeastern Brazilian Coast: Implicantions on Coastal Quaternary Evolucion*. Anais da Academia Brasileira de Ciências (2002) 74(3): 505-519.

BRAGA, K. G. *O Uso de Checklist na Identificação de Processos Erosivos Costeiros*. 2005. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Sanitária) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2005.

CESTARO, L. A. 2002. *Fragmentos de florestas atlânticas no Rio Grande do Norte: relações estruturais, florísticas e fitogeográficas.* Tese de Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais – Universidade de São Carlos/Brasil.

COELHO, A. C. S. *Avaliação de Desempenho de Receptores GPS em Levantamentos Altimétricos, para Fim de Sistematização de Terras*. 2003. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, USP, 2003.

COLLINS, B. D., SITAR, N. 2008. *Processes of Coastal Bluff Erosion in Weakly Lithified Sands, Pacifica, California, USA*. Geomorphology, 97, 483–501. www.sciencedirect.com

DAVIS, R. A., HAYES, M. O., What is a wave dominated coast? Marine Geology, 60: pp. 313-329; 1984.

DAVIES, J. L. 1964. *A Morphogenic approach to world shorelines, Zeitschrift für Geomorphologie,* Mortenses Sonderheft. Pp. 127-142.

DINIZ, R. F. *A Erosão Costeira ao Longo do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte: Causas, Conseqüências e Influência nos Processos de Uso e Ocupação da Região Costeira*. 2002. Tese (Doutorado em Geociências) - Curso de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia. 2002.

DINIZ, R. F.; DOMINGUEZ, J.M.L. 1999. *Erosão costeira no litoral oriental do Rio Grande do Norte.* Anais: VII Congresso da ABEQUA. Porto Seguro.

DOMINGUEZ, J.M.L. & BITTENCOURT, A.C.S.P., 1996. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion in Northeastern Brazil. An. Acad. Bras. Ci. 68(3): 356-371.

EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte, http://www.emparn.rn.gov.br/, acesso em 24 de Janeiro de 2009.

ESTEVES, L.S.; TOLDO Jr, E.E.; DILLENBURG, S. R. *Influência da Mobilidade Praial nas Estimativas das Taxas de Variação da Linha de Costa* In Anais do IX

Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternários, (Em CD-ROOM), Recife, Out.2003.

FREITAS, N. P.; MENEZES, J. T.; LANGUI, M. P.; VINTÉM, G.; KLEIN, A. H. F.; DIEHL, F.L. (2003). *Análise Morfológica de Ambientes Costeiros Através do Sistema de Posicionamento Global (DGPS) (Não Geodésico)* In Anais Do IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternários, (Em CD-ROOM), Recife, Out.2003.

HAZIN, F. H. V.; WOR, C.; OLIVEIRA, J. E. L.; SANTIAGO, H.; TRAVASSOS, P.; GEBER, F. *Resultados Obtidos por Meio do Fundeio de um Correntógrafo na Plataforma Continental do Estado do Rio Grande do Norte, Brasil*. Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, 2008, 41(1): 30-35.

IBGE. *Censo Demográfico 2000*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Introdução ao SPRING – Tutorial***.** Janeiro de 2006; INPE.

KOMAR, P. D. 1983. *Handbook of Coastal Processes and Erosion.* CRC Press Inc., Boca Raton, FL. 320 pp.

MACCORMAC, J. C. *Topografia*. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

O'NEIL, C. R. (1986). *Structural Methods for Controling Coastal Erosion,* New York Sea Grant Extension. Cornell University, Ithaca.

PIÉRRI, G. C. S. *Análise de Risco à Erosão Costeira na Região de Tibau do Sul/RN Através de Mapeamento Geoambiental e Análise Morfodinâmica*. 2008. Dissertação (Mestrado Em Geodinâmica) - Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2008.

SANTOS Jr., O. F. ; SCUDELARI, A. C.; AMARAL, R. F. (2004). *Geothecnical Properties of Tertiary Sediments and Failure Mechanisms of a Sea Cliff in the State of Rio Grande do Norte, North East Brazil* In Proc. Ninth International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro, 2004. Pp. 729-733.

SANTOS Jr., O. F.; PEREIRA, D. A.; NÓBREGA, P. G. B.; AMARAL, R. F. (2001). *Mecanismos de Rupturas de Taludes em Sedimentos Terciários da Formação Barreiras no Litoral do Rio Grande do Norte* In Anais da III Conferência Brasileira Sobre Estabilidades de Encostas, Rio de Janeiro, 2001, Pp. 165-170.

SANTOS Jr., O. F.; SEVERO, R. N. F.; SCUDELARI, A. C.; AMARAL, R. F. (2008) *Processos de Instabilização em Falésias: Estudo de um Caso no Nordeste do Brasil*. Geotecnia N. 114 – Novembro 08, Pp. 71-90.

SANTOS, A. A. . *Geodésia Elementar - Princípios de Posicionamento Global*. 2. ed. Recife: Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

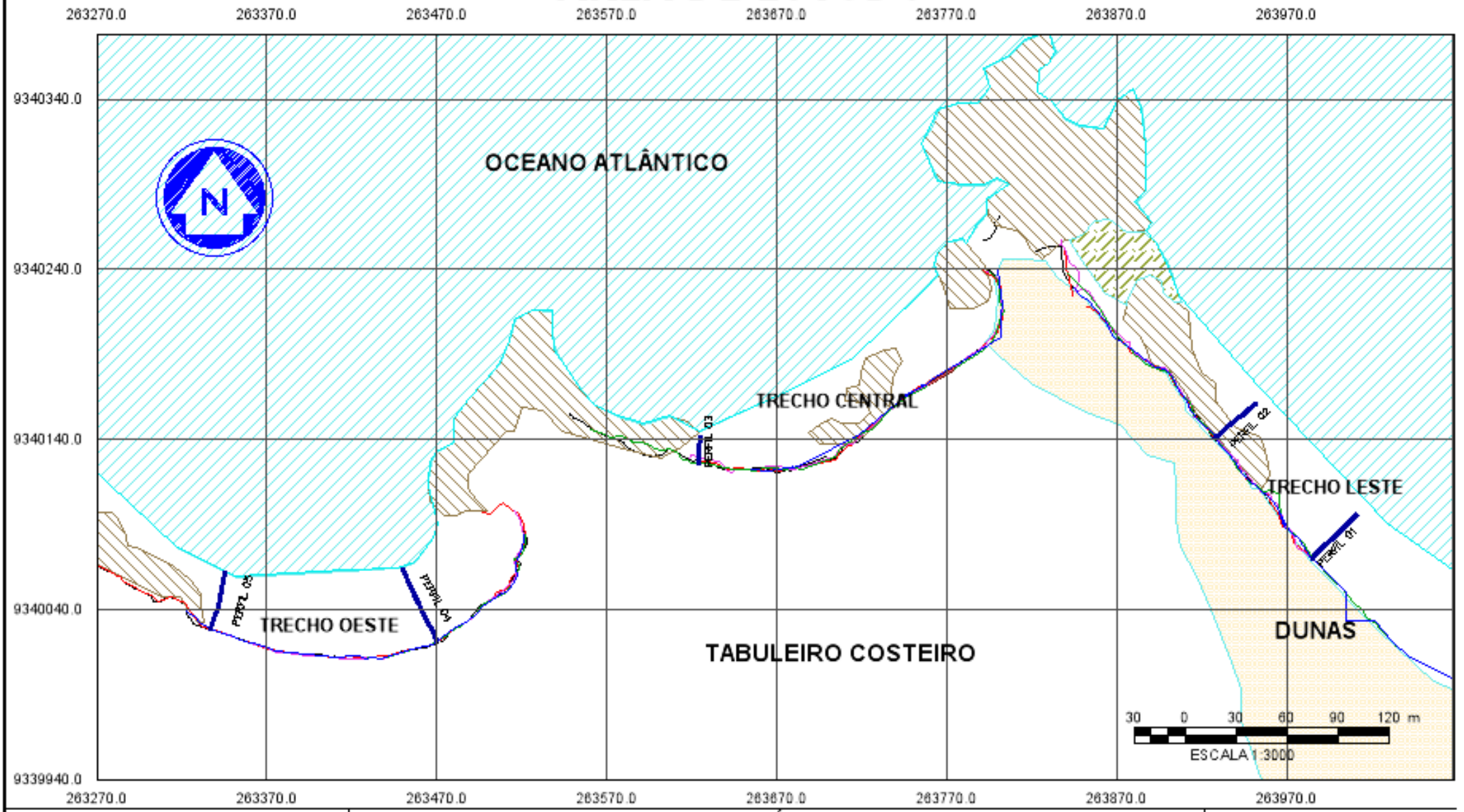
SEVERO, R. N. F. *Análise da Estabilidade das Falésias entre Tibau do Sul e Pipa-RN*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2005.

SILVA, E. A. J.; SANTOS Jr, O. F.; JESUS, A. P.; AMARAL, R. F. (2002). *Caracterização Geológica, Geomorfológica e Geotécnica do Setor Sul de Natal/RN, com Base em Perfís de Sondagens de Simples Reconhecimentos*. In Anais do X Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002, Ouro Preto, 1, Pp. 1-6.

SILVA, W. S. *Estudo da Dinâmica Superficial e Geotécnico das Falésias do Município de Tibau do Sul – Litoral Oriental do RN*. 2003. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2003.

APÊNDICES

ÁREA DE ESTUDO



LEGENDA

- 2009
- 2008
- 2006
- 2005
- 2004
- Arenito_de_praia
- Arenito_ferruginoso

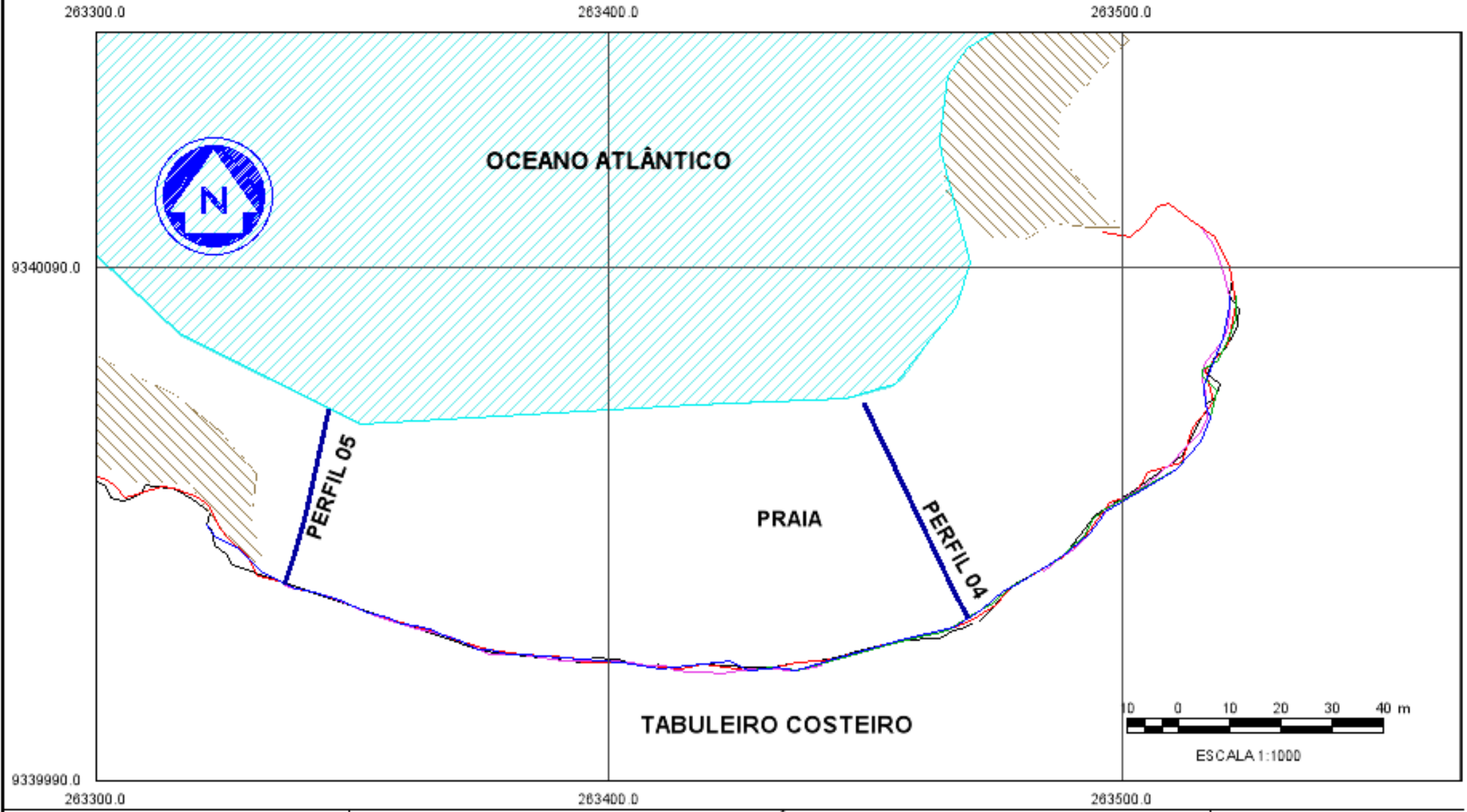
MONITORAMENTO POR DGPS E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DE PIRANGI DO NORTE - PARNAMIRIM / RN

ASSUNTO: MAPA DA ÁREA DE ESTUDO - LEVANTAMENTO DA LINHA DE COSTA
LOCAL: PIRANGI DO NORTE, PARNAMIRIM / RN DATA: NOV. 2004 À NOV. 2009
LEVANTAMENTO/ DESENHO: KLEITON CASSEMIRO DO NASCIMENTO
ESCALA: 1:3000 PROJEÇÃO: UTM MERID. CENTRAL 33° WG DATUM: SAD - 69

PRANCHA: 1/4

UFRN
PPGES

TRECHO OESTE



LEGENDA

- 2009
- 2008
- 2006
- 2005
- 2004
- Arenito_de_praia
- Arenito_ferruginoso

MONITORAMENTO POR DGPS E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DE PIRANGI DO NORTE - PARNAMIRIM / RN

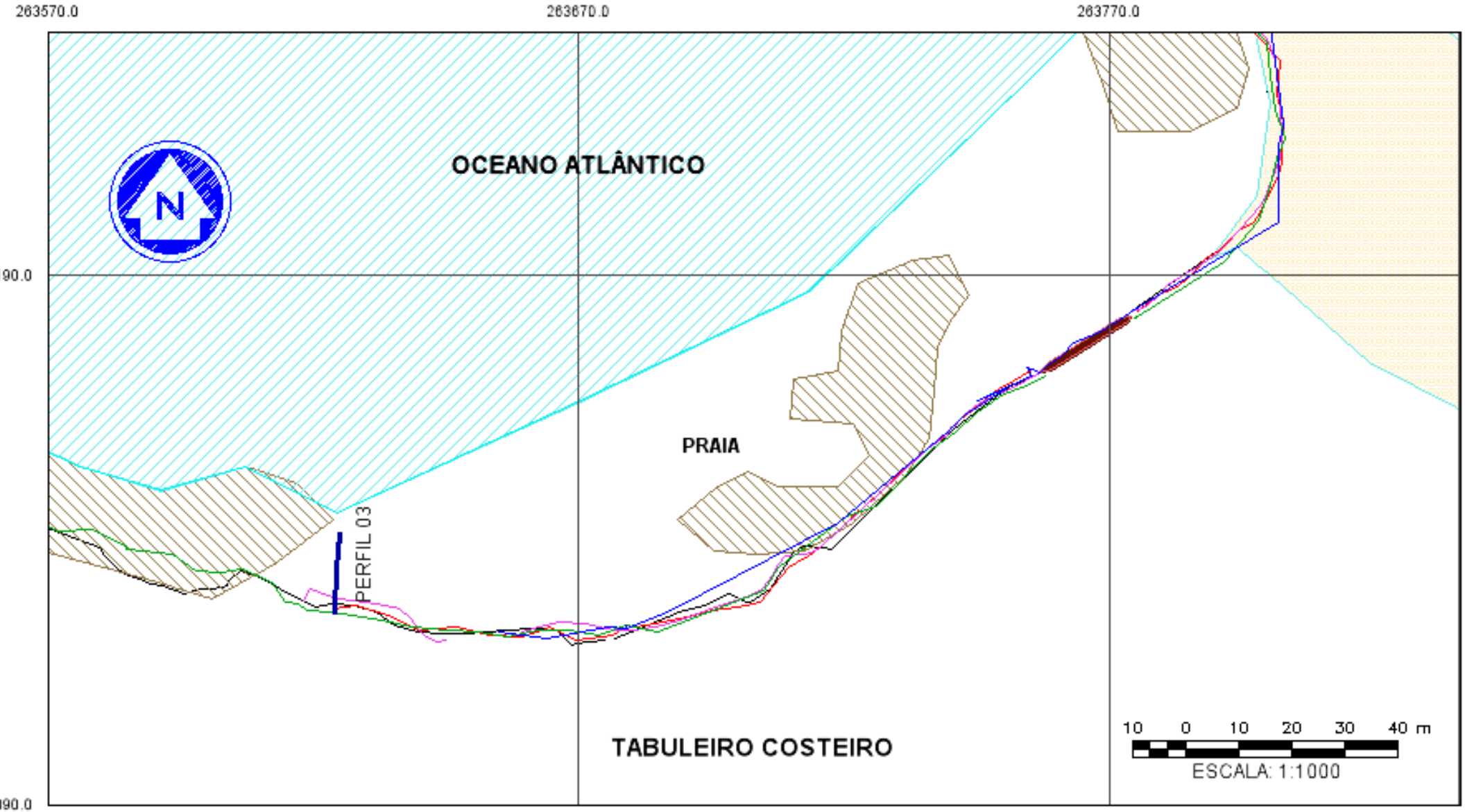
ASSUNTO: MAPA TRECHO OESTE - LEVANTAMENTO DA LINHA DE COSTA
LOCAL: PIRANGI DO NORTE, PARNAMIRIM / RN DATA: NOV. 2004 À NOV. 2009
LEVANTAMENTO/ DESENHO: KLEITON CASSEMIRO DO NASCIMENTO

ESCALA:	PROJEÇÃO:	MERID. CENTRAL	DATUM:
1:1000	UTM	33° WG	SAD - 69

PRANCHA: **2/4**

UFRN
PPGES

TRECHO CENTRAL



LEGENDA

- 2009
- 2006
- 2004
- 2008
- 2005
- Paredao
- Arenito_ferruginoso

MONITORAMENTO POR DGPS E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DE PIRANGI DO NORTE - PARNAMIRIM / RN

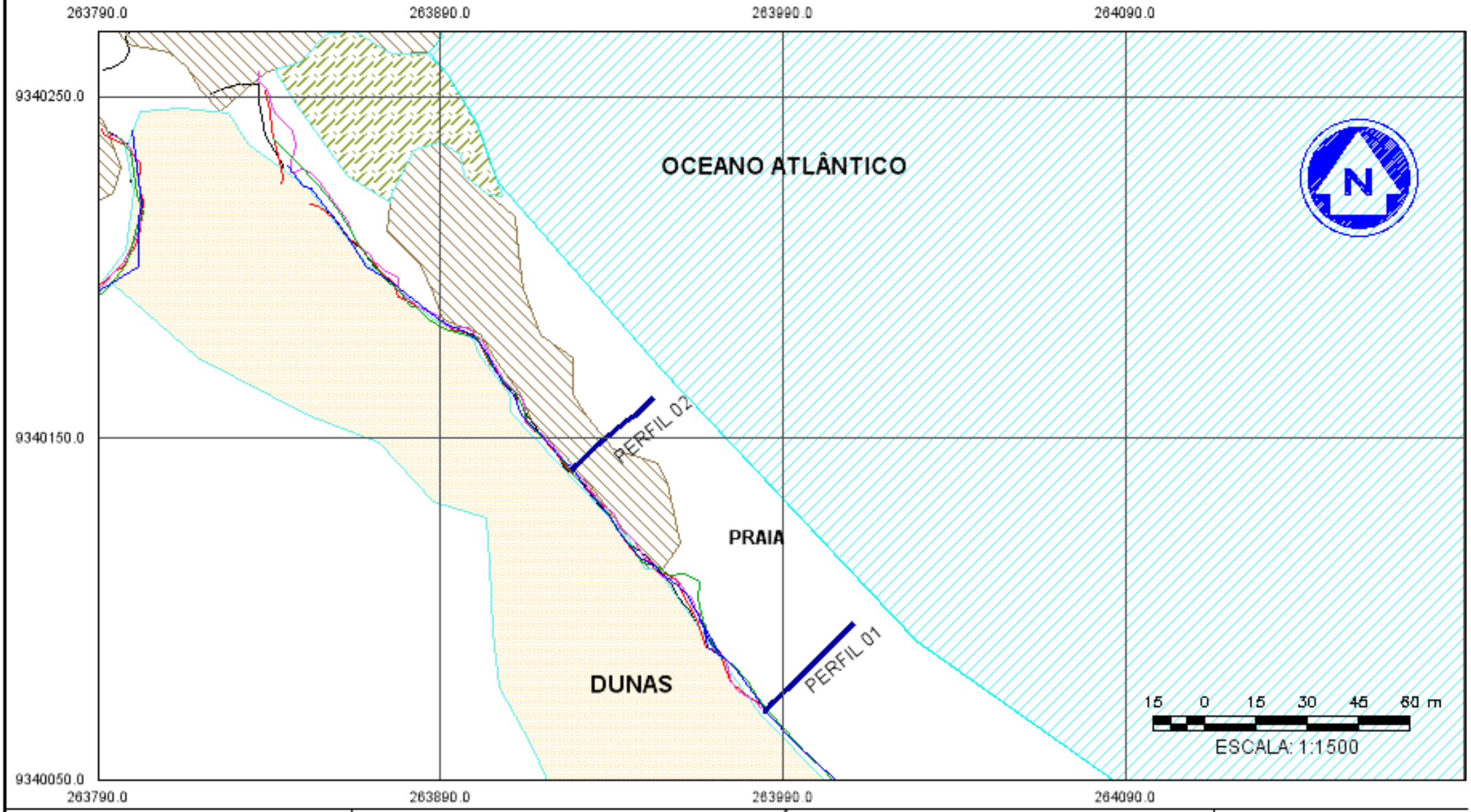
ASSUNTO: MAPA TRECHO CENTRAL - LEVANTAMENTO DA LINHA DE COSTA
LOCAL: PIRANGI DO NORTE, PARNAMIRIM / RN DATA: NOV. 2004 À NOV. 2009
LEVANTAMENTO/ DESENHO: KLEITON CASSEMIRO DO NASCIMENTO

ESCALA:	PROJEÇÃO:	MERID. CENTRAL	DATUM:
1:1000	UTM	33° WG	SAD - 69

PRANCHA: **3/4**

UFRN
PPGES

TRECHO LESTE



LEGENDA

- 2009
- 2008
- 2006
- 2005
- 2004
- Arenito_de_praia
- Arenito_ferruginoso

MONITORAMENTO POR DGPS E ANÁLISE DOS PROCESSOS EROSIVOS DA LINHA DE COSTA NA PRAIA DE PIRANGI DO NORTE - PARNAMIRIM / RN

ASSUNTO: MAPA TRECHO LESTE - LEVANTAMENTO DA LINHA DE COSTA
LOCAL: PIRANGI DO NORTE, PARNAMIRIM / RN DATA: NOV. 2004 À NOV. 2009
LEVANTAMENTO/ DESENHO: KLEITON CASSIMIRO DO NASCIMENTO

ESCALA:	PROJEÇÃO:	MERID. CENTRAL	DATUM:
1:1500	UTM	33° WG	SAD - 69

PRANCHA: **4/4**

UFRN
PPGES