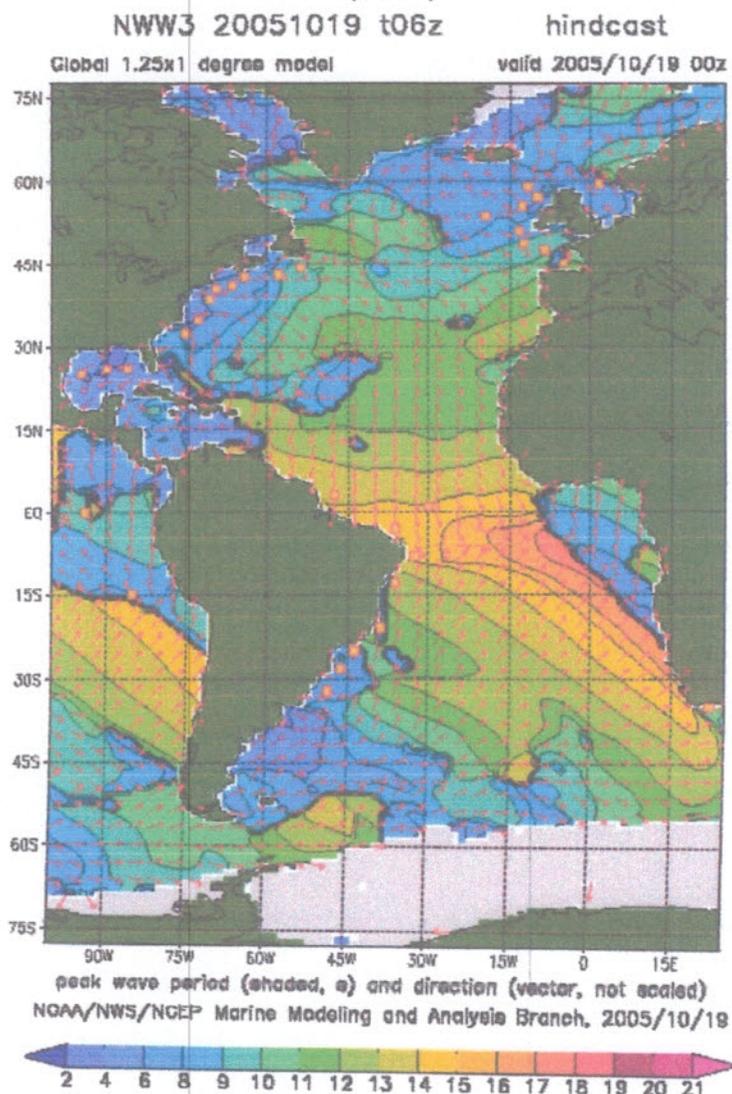


francamente nas dársenas com perigo para as embarcações atracadas.



Figura 5 – Desenho mostrando a chegada no nosso litoral de ondas originadas no hemisfério norte com períodos superiores a 15 segundos (swell).



O evento mais recente de ressaca do mar ocorreu em março de 2018, quando as ondas atingiram 3,5 metros de altura, segundo a Capitania dos Portos do Ceará, remobilizando cerca de 500 toneladas de areia das faixas de praia e pós-praia para os calçadões das Praias de Iracema e Beira-Mar. Ou ainda, na região

costeira de Acaraú, no litoral oeste do Estado, onde foram instalados espigões que não foram capazes de conter a erosão na base de aerogeradores nas praias de Morgado e Volta do Rio (Figura 6).

Figura 6 – Erosão costeira na base de aerogerador na praia do Morgado em Acaraú.



3.4 – Histórico da Variação da Linha de Costa na Praia de Arpoeiras

Moura (2017) fez uma análise da variação da linha de costa do spit (cordão litorâneo) que compõem a Praia de Arpoeiras para o intervalo temporal de 1973 a 2017. Segundo o autor a análise do processo migratório e das principais mudanças morfológicas indicou a predominância dos processos erosivos no spit de Arpoeiras, como observado nas demais barreiras costeiras analisadas no litoral de Acaraú pelo autor.

[Handwritten signatures and initials in blue ink]

Ainda segundo Moura (2017) a redução da área total do spit foi de 52% entre os anos de 1973 e 2017, com ocorrência dos processos erosivos mais intensos nos últimos 24 anos (Figura 7), bem como a variação da linha de costa que teve redução de 7 m/ano entre os anos de 1993 e 2017 (Figura 8).

Um resumo das variações da área e linha de costa, em planta, pode ser visto na figura 9.

Figura 7 – Evolução interdecadal da área do spit de Arpoeiras. (Fonte: Moura, 2017).

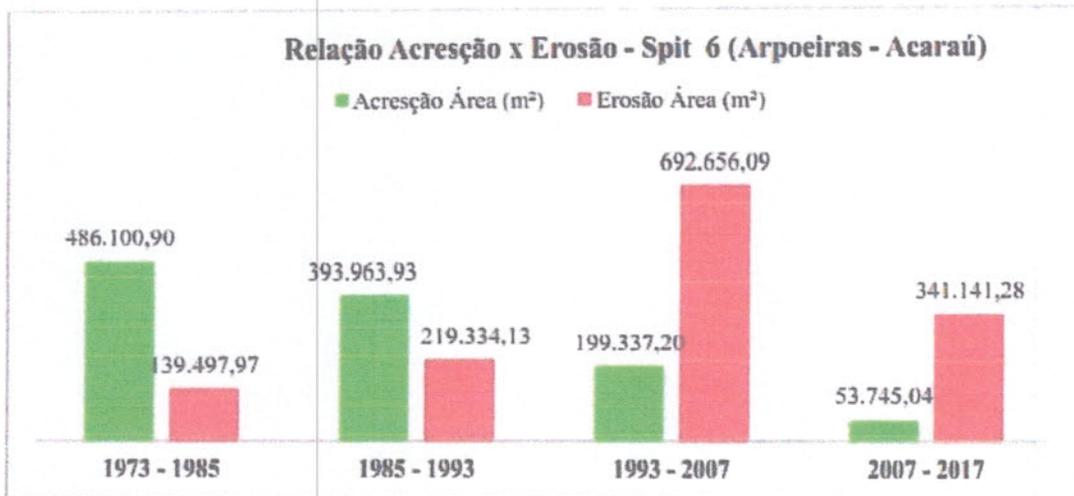


Figura 8 – Variação da linha de costa no spit de Arpoeiras. (Fonte: Moura, 2017).

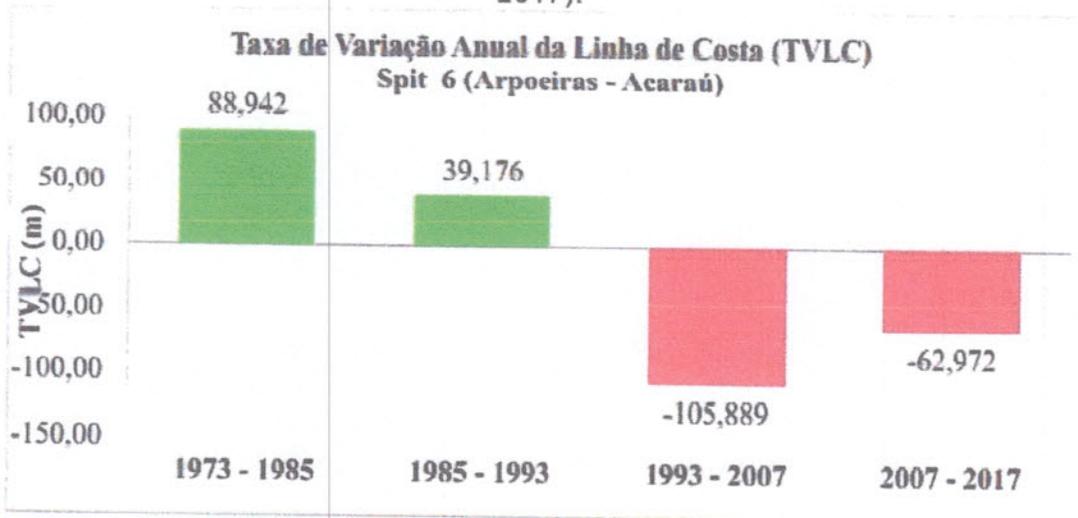
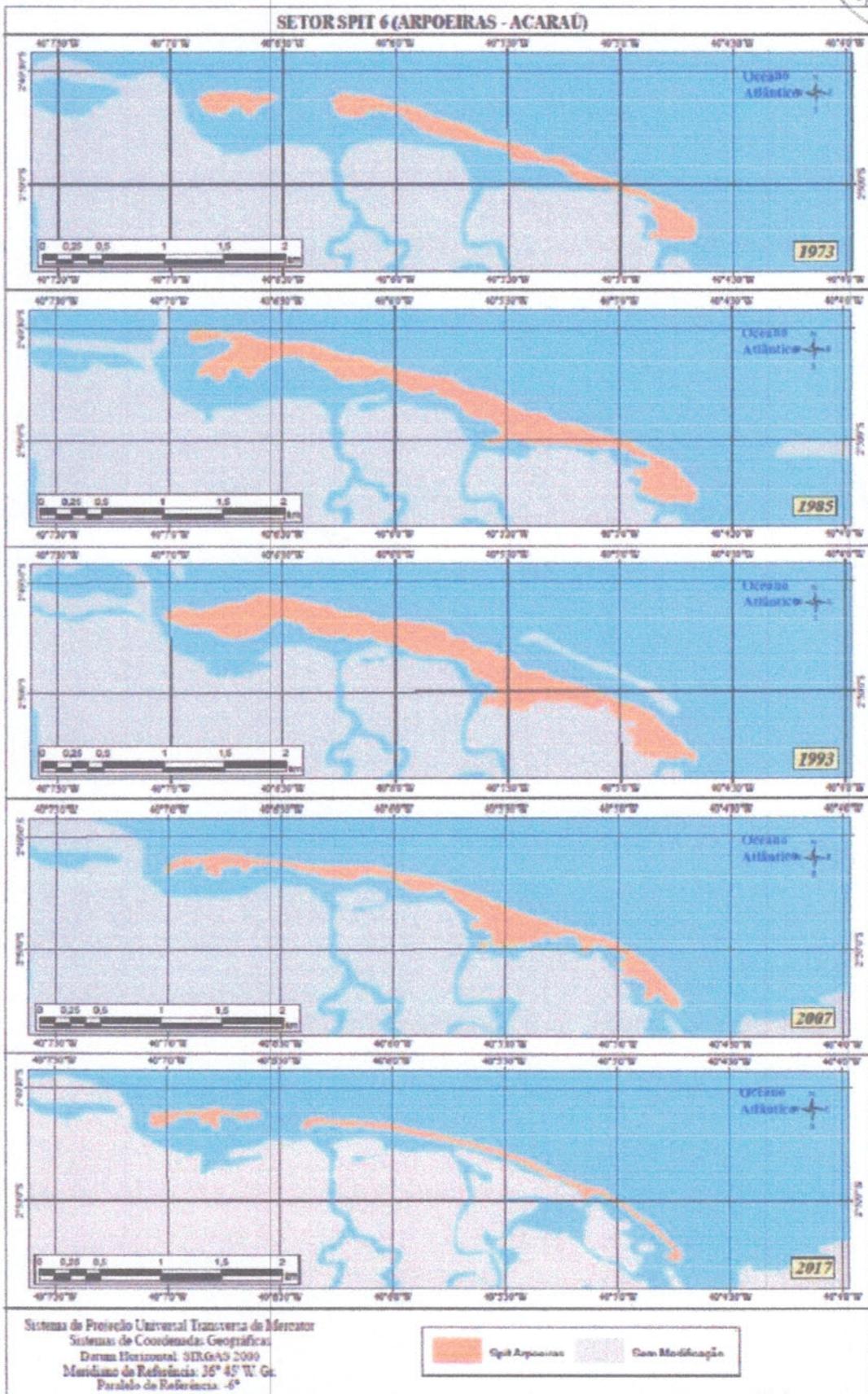


Figura 9 – Resumo da configuração morfológica interdecadal do spit. (Fonte: Moura, 2017).



[Handwritten signatures and initials]



4 – TIPOS DE PROTEÇÃO

As obras de contenção, de um modo geral, têm como objetivos básicos a recuperação da praia, compensando o desequilíbrio do litoral, provocado pela erosão natural ou devido a ações antrópicas e a criação de praias artificiais. Existem vários tipos de proteção de praia contra os riscos costeiros que podem ser usados individualmente ou de forma associada para aumentar sua eficiência.

Obras para defesa de costa são amplamente utilizadas em todo o mundo. Na França, por exemplo, para um litoral de 4.471 Km, existem cerca de 97 m de comprimento de obras por quilômetro. No Japão, para 31.000 Km de costa, encontram-se mais de 8.000 Km de muros de proteção, cerca de 1.500 quebra-mares e mais de 10.000 espigões, além das estruturas de proteção associadas aos mais de 4.000 portos do país (Paskoff, 1985).

O processo erosivo intensamente observado no litoral brasileiro, prioritariamente ocorre em áreas com níveis elevados de urbanização e está associado diretamente com as atividades antropogênicas desenvolvidas nestas áreas. A interferência humana, de várias formas, no caso particular do litoral do município de Fortaleza, é o principal fator responsável pelo desequilíbrio da dinâmica sedimentar e conseqüentemente do incremento da erosão costeira.

A defesa das praias é uma atividade complexa e onerosa. Normalmente exige interferências amplas, mas se é realizada com medidas de proteção parciais e inadequadas, na maioria das vezes, o processo erosivo é acelerado. Um planejamento eficiente, estético e principalmente econômico, objetivando solucionar ou minimizar os efeitos decorrentes da erosão, deve considerar todas as variáveis naturais e antrópicas que intervêm no processo e fundamentalmente ser implantado em todo segmento costeiro em recuo, para que os objetivos estabelecidos sejam amplamente atingidos.

[Handwritten signatures and initials in blue ink]

A seguir serão descritos, resumidamente, os tipos de obras mais comumente usadas, com suas características, vantagens e desvantagens.



4.1 – Espigões

São obras dispostas perpendicularmente à linha de costa, normalmente ultrapassando a zona de arrebentação, com o objetivo de reter o sedimento transportado pela corrente da deriva litorânea. Esse tipo de intervenção é recomendada para praias que apresentam grande volume de transporte litorâneo. Nesses casos eles podem estabilizar trechos de praia que passam a apresentar um aspecto segmentado.

A grande desvantagem deste tipo de intervenção é provocar um agravamento da situação à jusante do setor protegido e de deslocar o problema, muitas vezes ampliado, para outro local que passa a apresentar um recuo da linha de praia devido à erosão. É um tipo de obra muito comum, tendo sido usado, por exemplo, para proteção do litoral de Fortaleza.

4.2 – Quebra-mares

São obras longitudinais em relação à linha de praia, que diferem dos muros de proteção por serem implantadas a uma certa distância da praia. Os quebra-mares têm perfis trapezoidais e são construídos com material de grande tamanho (blocos de rocha, concreto, tetrápodes) e têm como objetivo principal amortecer o ataque das ondas antes que elas atinjam a praia (Figura 10).

Para se proteger uma praia, pode-se dispor de várias estruturas de quebra-mares, cujos espaçamentos e distâncias da linha de praia devem ser calculados de modo a permitir que as ondas ao penetrarem através de seus espaços sejam igualmente amortecidas quando atingirem a praia. Esse tipo de intervenção foi

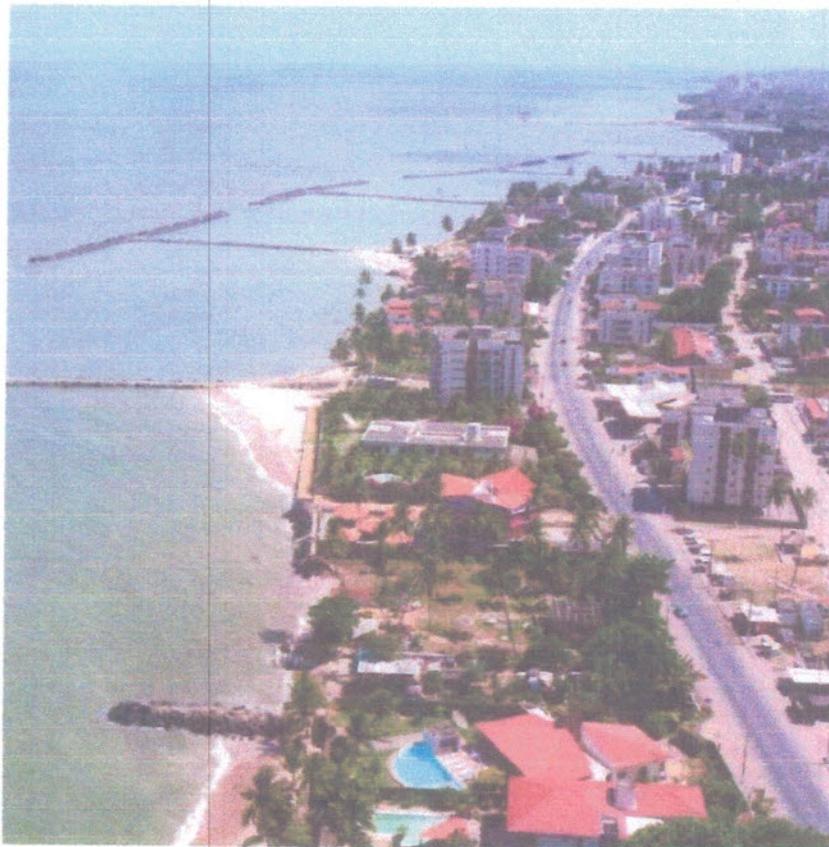
[Handwritten signatures and initials in blue ink]

empregado na Praia da Casa Caiada (Olinda) e no município de Paulista em Pernambuco.

Esse tipo de obra é mais indicado para costas de baixa amplitude de marés e têm a vantagem de criar entre os quebra-mares e a linha de praia, uma zona de sombra onde se produz um assoreamento, mas apresentam o inconveniente de provocar o processo de erosão no setor adjacente à jusante da corrente.

Os quebra-mares podem ser projetados para permanecerem submersos, amortecendo o ataque das grandes ondas permitindo a passagem das pequenas ondas, evitando uma interrupção total do transporte litorâneo, impedindo que ocorram sedimentos lamosos tão prejudiciais à balneabilidade das praias.

Figura 10 – Exemplo de espigões e quebra-mares na orla marítima do município de Paulista – PE.



4.3 – Muro de proteção ou enrocamento aderente

São obras de defesa geralmente dispostas paralelamente à linha de praia, muitas vezes associadas a enrocamentos. São construídas com o objetivo de proteger do ataque frontal das ondas. Tais construções são geralmente instaladas, muito próximas ao mar, sejam sobre duna frontal ou pós-praia. Se os muros forem bem construídos e com boa manutenção, podem assegurar a proteção das praias ameaçadas. Entretanto, eles apresentam o grande inconveniente de impedir todas as trocas de areia entre a duna e o estirâncio, as quais são necessárias ao bom equilíbrio do sistema. Com a redução da largura da praia (estirâncio), ocorre uma concentração de energia de arrebentação das ondas que vai provocar um aumento da turbulência da água e conseqüente aceleração da erosão da praia.

Esta situação é muito comum em todo litoral pernambucano, onde as construções avançando sobre a praia, sofrem ação das ondas e para sua proteção são feitas intervenções que vão tornar as praias impróprias ao lazer sob condições de maré alta (Figura 11).

Figura 11 – Exemplo de muro de proteção aderente dissipativo e permeável na Praia de Boa Viagem, orla marítima do município de Recife-PE.



5 – LEVANTAMENTOS COMPLEMENTARES

Inicialmente foi feita uma análise através da interpretação e integração dos dados preexistentes, complementada pela aquisição de novos dados, detalhados a seguir:

- Avaliação da atual situação da linha de costa;
- Realização de perfis de praia nivelados com o zero hidrográfico da maré para os cálculos e dimensionamento da obra, como a cota do enrocamento a ser instalado;
- Análise sedimentológica do perfil de praia para o dimensionar da base de proteção do enrocamento;
- Todos os dados levantados foram analisados e interpretados para a elaboração, através de modelagem numérica, de simulações para se eleger qual a solução mais adequada para cada intervenção tendo em vista as condições físicas da área.

5.1 – Avaliação da atual situação da linha de costa

A Praia de Arpoeiros, nas proximidades da Barraca AP, o problema de erosão se torna evidente quando é observada que a linha de preamar, ou linha de maré alta, avança em direção ao continente, de modo que atualmente está alinhada a alguns equipamentos ali instalados, como barracas, por exemplo, no pós-praia (Figura 12).

Para entender o complexo inter-relacionamento destes fenômenos que causam estas mudanças é necessário fazer observações com uma grande gama de escalas temporais e espaciais. E uma das ferramentas que podem auxiliar nesta observação é o sensoriamento remoto, ou a observação da Terra por meio de satélites. Trata-se de uma das maneiras mais efetivas e econômicas de coletar os dados necessários para monitorar e modelar estes fenômenos (Sausen, 2005). A referida autora ressalta que os produtos apresentados sobre áreas específicas ou sobre um contexto mais regional, permitem diagnósticos eficientes,

[Handwritten signatures and initials in blue ink]

propõem soluções de baixo custo e criam alternativas inteligentes para os desafios enfrentados face às mudanças aceleradas que observamos em nosso território.

Figura 12 – Linha de preamar (linha azul) mais recuada para onshore do que algumas estruturas ou equipamentos já prejudicados pela erosão (seta vermelha).



A análise de certas mudanças no meio físico natural, numa escala multitemporal, pode trazer perspectivas a respeito dos problemas que aconteceram no passado e acontecem no presente. A partir daí, os produtos da estimativa podem ser gerados como mapas e cartas cartográficas, por exemplo, juntos com seus valores atribuídos a dados georreferenciados, a fim de propor soluções.

Em muitas aplicações de geoprocessamento o processamento de imagens é necessário comparar múltiplas delas da mesma cena, adquiridas por diferentes sensores ou imagens de mesmo sensor de épocas diferentes. Essas imagens podem ter relativa translação, rotação e escala e outras transformações

geométricas entre elas (Silva & Dutra, 2005). Desta forma o tratamento das imagens de satélite contou com pré-processamento digital das mesmas.

No presente levantamento a correção geométrica (registro de imagens) foi a técnica utilizada para resolver essa questão de transformações que ocorrem nas imagens.

Silva & Dutra (2005) comentam que o registro de imagens estabelece a correspondência entre duas imagens e determinar a transformação geométrica que alinhe uma com a outra. E através do registro de imagens é possível realizar a análise multi-temporal, a combinação de imagens de diferentes sensores, a combinação de resolução espacial com espectral, a elaboração de mosaicos e a integração de uma imagem à base de dados existente num Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Para que seja feita a correção geométrica das imagens, Silva & Dutra (2005) sugerem a obtenção de pontos de controle em imagens de satélites. A obtenção de pontos de controle em diferentes imagens é feita a partir de feições que estão presentes tanto na imagem base como na imagem ajuste.

Neste contexto, o presente diagnóstico sobre a variação da linha de costa utilizou esta técnica de correção geométrica para o georreferenciamento das imagens. As feições usadas para o georreferenciamento foram: linhas (estradas e rios) e pontos (intersecções de linhas e pontos que destaquem alto relevo).

A escolha dos pontos de controle foi feita na imagem base do satélite QUICKBIRD do ano de 2003. Foi escolhido o máximo de pontos de fácil identificação nesta imagem, para que fosse possível efetuada a retificação das outras imagens registradas dos anos de 2009 a 2018. O processo de correção geométrica foi realizado no software Quantum GIS, utilizando-se o DATUM horizontal WGS 84 projeção UTM zona 24 Sul.

A integração dos dados georreferenciados proporcionou o cálculo das taxas de avanço e/ou recuo da linha de costa no setor estudado. A determinação destas taxas entre os anos de 2003 e

2018 (15 anos) foi feita com o auxílio da extensão Digital Shoreline Analysis System – DSAS 3.2 para o ArcView, ferramenta utilizada para a análise da linha de costa (Thieler et al. 2005) a partir da digitalização da linha (shorelines) correspondente a cada ano do registro.

Foram utilizados dois métodos estatísticos para a referida análise, o método EPR ou taxa de ponto de extremidade calcula a variação dividindo a distância do movimento pelo tempo decorrido entre a linha mais antiga e a mais atual. E o método LRR que calcula as taxas de recuo da linha de costa através do método de regressão linear simples, considerando as inflexões existentes ao longo de linha representativa a cada ano, logo todos os transectos são considerados para efeito de cálculo.

A análise feita no setor da Praia de Arpoeiras mostra que a linha de costa passa por processo considerado de erosão entre os anos de 2003 e 2018, sem redução das taxas de erosão entre todos os intervalos observados. Os dados corroboram com o levantamento feito por Farias & Maia (2010) que mostraram a tendência erosiva em um trecho de praia mais próxima ao presente levantamento, no município de Itarema. Segundo os autores, a tendência de erosão da costa registrou taxa de recuo de 3,4 m/ano, e trechos com erosão de 8,8 m/ano.

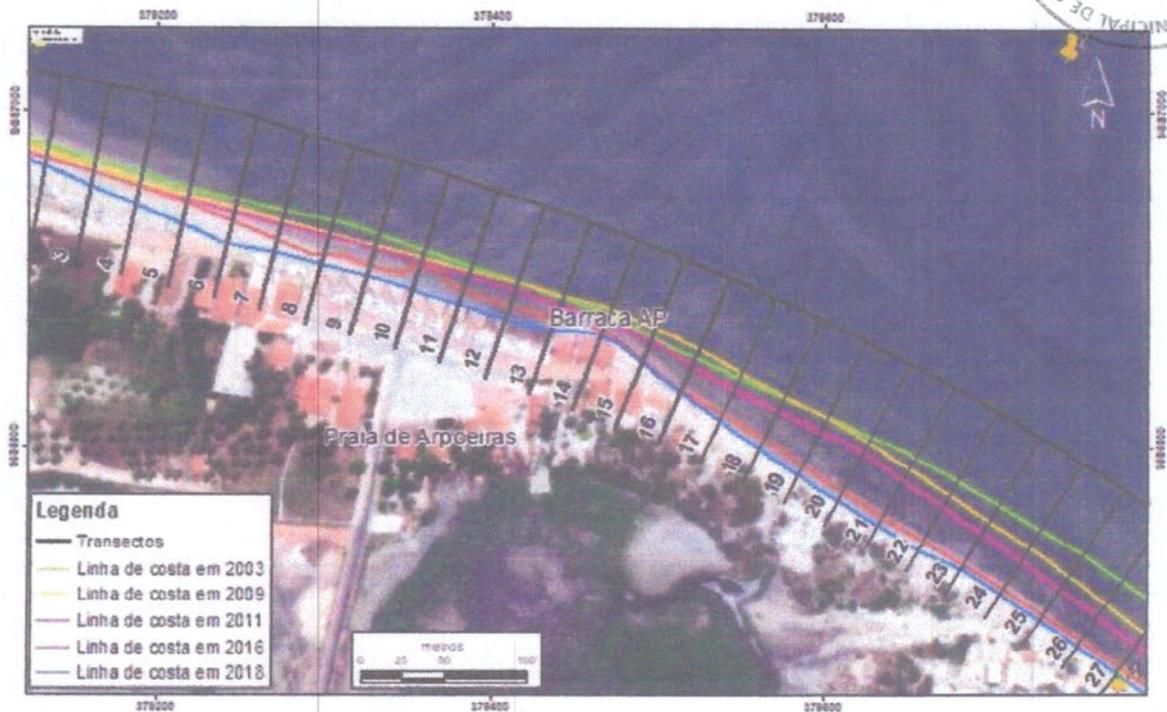
O presente levantamento obteve 27 transectos espaçados por 30 metros cada em um trecho de 800 metros aproximadamente de praia (Figura 13). Todos os transectos foram projetados perpendicularmente à costa, e dispostos a partir de uma linha de base offshore paralela à linha de costa.

O presente levantamento obteve 27 transectos espaçados por 30 metros cada em um trecho de 800 metros aproximadamente de praia (Figura 13). Todos os transectos foram projetados perpendicularmente à costa, e dispostos a partir de uma linha de base offshore paralela à linha de costa.

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

Figura 13 – Aplicação da ferramenta DSAS no trecho da Praia de Arpoeiros.



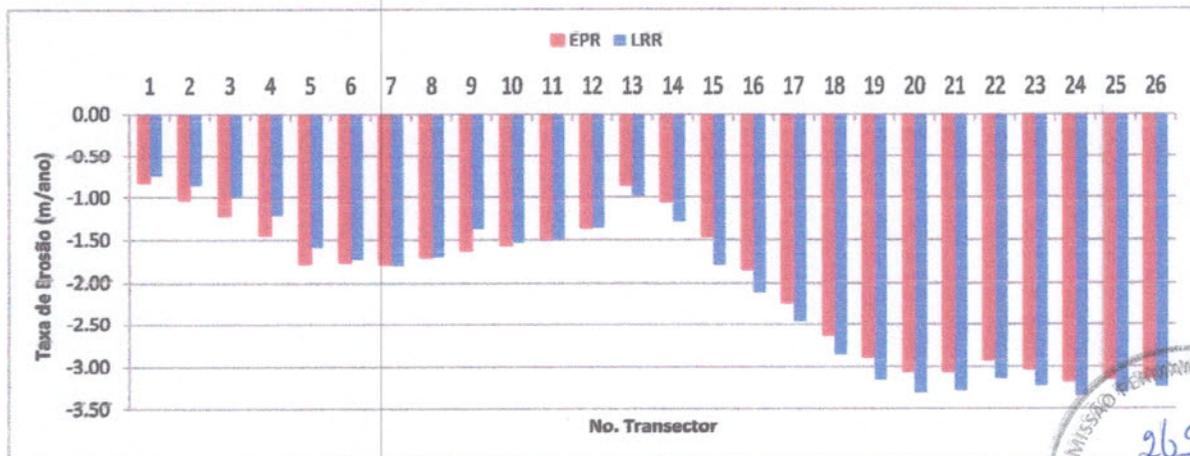
No trecho estudado foi observado que a tendência recuo da linha de costa é definida por uma taxa de erosão em média de 2 m/ano considerando todo o trecho e os 27 transectos. A maior taxa pontual de erosão é de 3,3 m/ano correspondente aos transectos 21, 22, 25 e 26, localizados a leste da Barraca AP. A menor taxa é de 0,82 m/ano corresponde ao transecto 2 situado a oeste da Barraca (ver figura 14). De uma maneira geral é observado aumento da taxa de erosão de oeste para leste no trecho da praia estudada a partir dos transectos 15 e 16 situados mais próximos da Barraca AP.

A aproximação entre os valores para as taxas de erosão entre os métodos EPR e LRR, cuja relação foi de 0,99 (média), evidencia que a erosão no trecho do presente estudo foi constante entre os anos de 2003-2009, 2009-2011, 2011-2016 e 2016-2018 com taxa média igual à média geral de 2 m/ano.

Handwritten signature

Handwritten signature

Figura 14 – Taxas de variação da linha de costa para o trecho de praia estudado.



5.2 – Perfis de Praia e Linha de Base

O estudo da topografia de determinada área é de fundamental importância para se classificar o tipo de praia, levando em consideração que a inclinação do terreno em conjunto com o tipo de arrebentação e a granulometria do sedimento vai influenciar diretamente no poder erosivo atuante sobre a linha de costa.

As forças atuantes na linha de costa, representadas pelos agentes modificadores, como ondas, corrente, marés e ventos, intensificam os processos de variação de acordo com a configuração morfológica da praia, ou perfil praial. Por tanto, faz-se necessário o conhecimento do modelo topográfico do perfil de praia para melhor dimensionamento da obra de contenção e garantia de sua eficácia.

A morfologia da praia foi realizada com o auxílio de uma Estação Total Ruide RTS 825, com suporte de um prisma, nível topográfico e mira graduada (Figura 15).

Foram realizados 14 perfis topográficos na praia do Arpoeiras no dia 31 de julho de 2019 (Figura 16), dentre os quais, os perfis 8 ao 19 correspondem ao local de instalação da obra de proteção. Os perfis foram espaçados ao longo do trecho estudado

de modo que pudessem ser observadas com clareza as variações e irregularidades na altitude do terreno. Para o levantamento topográfico considerou-se o nível de referência dos dados da DHN (Diretório de Hidrografia e Navegação) de acordo com a variação da maré correspondente (Figura 17), permitindo a correção dos dados topográficos para o nível zero hidrográfico. Os dados escolhidos foram os do marégrafo do Porto do Pecém, localizado no município de São Gonçalo do Amarante.

Figura 15 – Estação Total Ruide RTS-825.



A correção de maré é feita a partir de uma equação gerada pela curva correspondente ao intervalo do levantamento. A equação polinomial (Figura 17) ajusta os valores de cotas do perfil para o nível zero da maré, considerando o toque na linha de preamar daquele determinado horário. Desta forma, é possível "amarrar" o perfil topográfico da praia à variação da maré em toda a sua extensão.

Figura 16 – Localização dos perfis topográficos de praia.

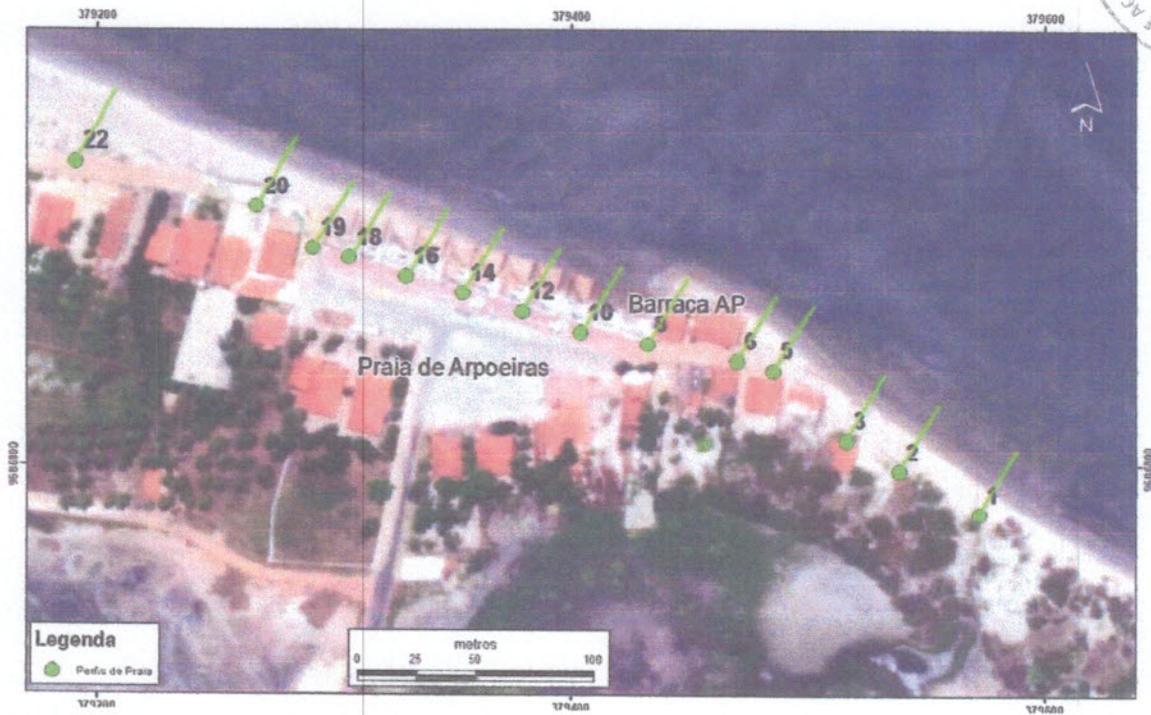
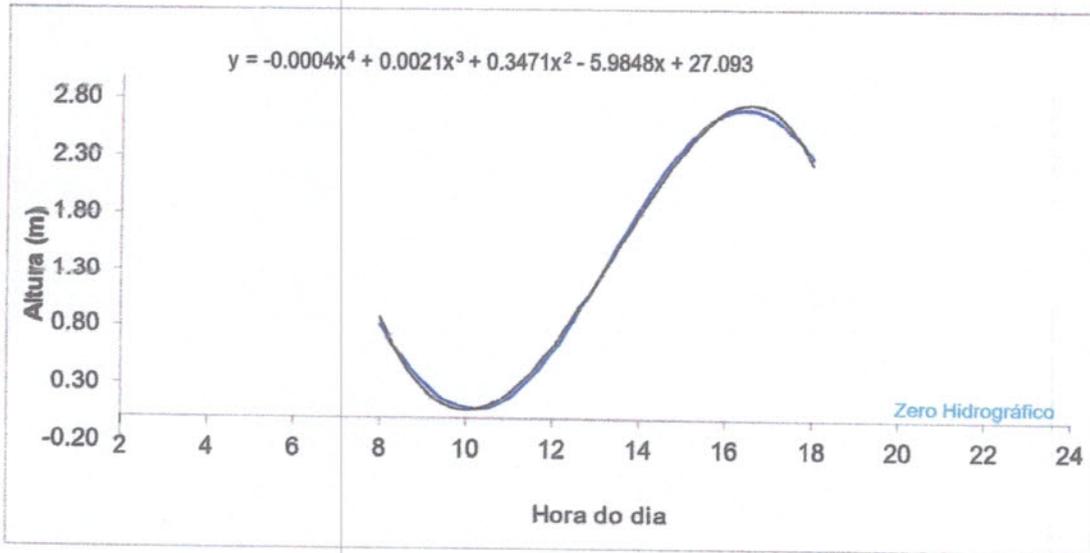


Figura 17 – Curva da maré para o levantamento dos perfis na localidade de Arpoeiros. Dia 31/07/2019, e equação para a correção da maré.



Além do levantamento topográfico foram feitos o registro e localização da linha de base (Figura 18) que auxiliará no

Handwritten signatures and initials:
 C. M.
 Calvo
 e

posicionamento da obra de contenção na faixa de praia. Na ocasião a linha de base ficou situada cerca de 18 metros a partir do muro de arrimo da barracas. Este levantamento foi feito a partir do registro da linha por equipamento que trabalha com o Sistema de Navegação Global por Satélite, ou GPS.

Figura 18 – Localização da linha de base.



5.3 – Análise Granulométrica

Também foram feitas coletas de sedimento, a fim de fazer a análise granulométrica e classificação sedimentológica, segundo Folk e Ward (1954). Foram coletadas 2 amostras por perfil, uma na zona de estirâncio e outra na berma para os perfis 3, 10, 18 e 22, totalizando 8 amostras.

O estudo granulométrico é importante na instalação de obra de contenção do tipo enrocamento aderente, pois auxilia na escolha adequada da malha do material filtrante geotextil (Bidim)

que irá compor a base da estrutura desde a linha de base + a cota de coroamento até a base da recrava ou proteção de pé (ver figura 22).

A granulometria indica maior concentração de areia fina a muito fina cerca de 90% do total da classificação granulométrica para todas as amostras, tanto da faixa de estirâncio quanto da zona de berma (Figura 19). Em se tratando especificamente da zona de berma, onde será instalada a obra de contenção, a fração granulométrica predominante é a areia muito fina (0,063 - 0,088 mm) para o ponto do perfil 10 e areia fina (0,125 - 0,177 mm) para o ponto do perfil 18 (Figura 20).

Figura 19 – Percentual da classificação granulométrica para as amostras da do estirâncio e zona de berma para todas as amostras.

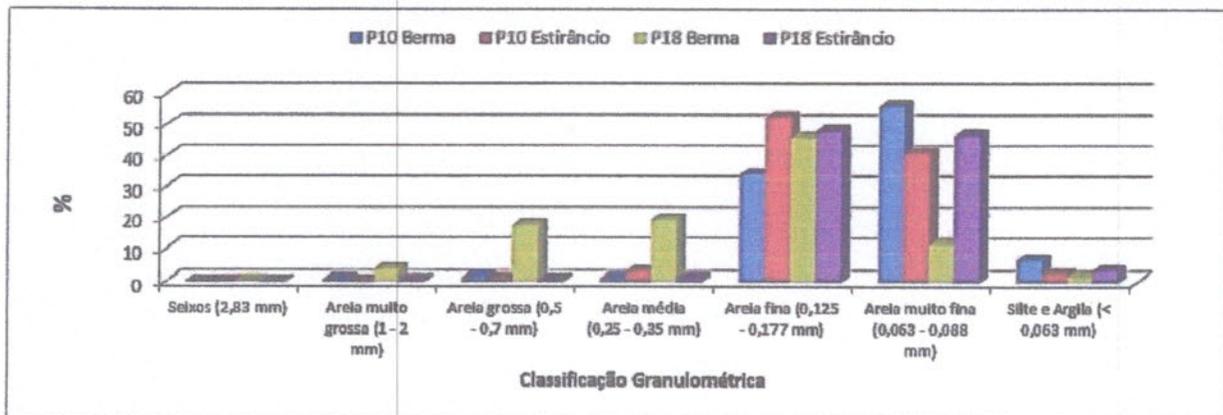
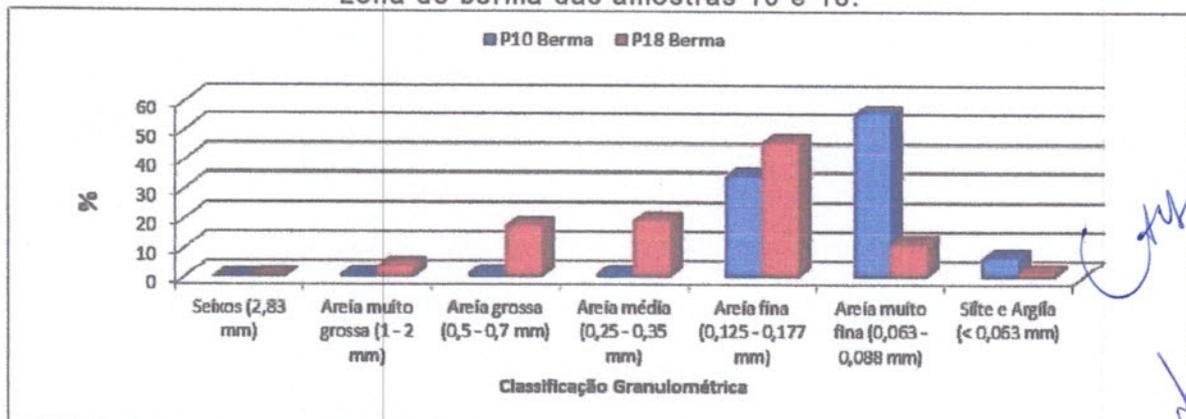


Figura 20 – Percentual da classificação granulométrica para as amostras da zona de berma das amostras 10 e 18.



6 – DEFINIÇÃO DA MEDIDA DE PROTEÇÃO PROPOSTA



6.1 – Enrocamento Aderente – Aspectos Funcionais

A estrutura (revestimento) do tipo enrocamento aderente é uma proteção de superfície que é posicionada em uma praia inclinada ou no leito de um banco para proteger a zona adjacente contra a erosão causada pelas correntes e ondas. Esse tipo de revestimento não é autossuportável e depende do solo para seu suporte. Absorve as ondas sobre sua face inclinada e dissipa a energia incidente ao transformar em vetores, distribuídos pelos vazios existentes nas suas camadas (externa e interna), permitindo ser transposto pelo volume de água incidente, fazendo com que esta ao retornar para o mar não possua energia capaz de somar à energia das próximas ondas. Sua integridade funcional depende da estabilidade estrutural da camada de proteção que abrange a sua superfície.

O enrocamento pode ser construído em uma praia ou em uma encosta de uma falésia, desde que o solo que a suporte seja estável. Faces inclinadas, principalmente de material granulado (porosa), não refletem as ondas, a exemplo do que ocorre com as estruturas de superfícies lisas (impermeáveis), como pode ser constatado na simulação apresentada na Figura 21.

6.2 – Enrocamento Aderente – Aspectos Estruturais

O revestimento do tipo enrocamento é composto por três componentes. O primeiro que determina as características dos outros dois é a camada de proteção (armadura), e que deve ser estável sob a ação das ondas. O segundo componente é a camada filtrante – filtro inferior (underlying filter) – que suporta a camada de proteção, promovendo a drenagem da água subterrânea na estrutura e evita que o solo seja lavado pelo impacto das ondas na

camada de proteção ou pela infiltração de água. O terceiro componente, a proteção de pé, protege a estrutura contra recalques ou remoção das extremidades da estrutura voltadas para o mar (Figura 22).

Figura 21 – Estrutura impermeável x Estrutura Permeável: Simulação comprova o processo de reflexão de ondas diante de estruturas impermeáveis.



6.2.1– Armadura (camada de proteção)

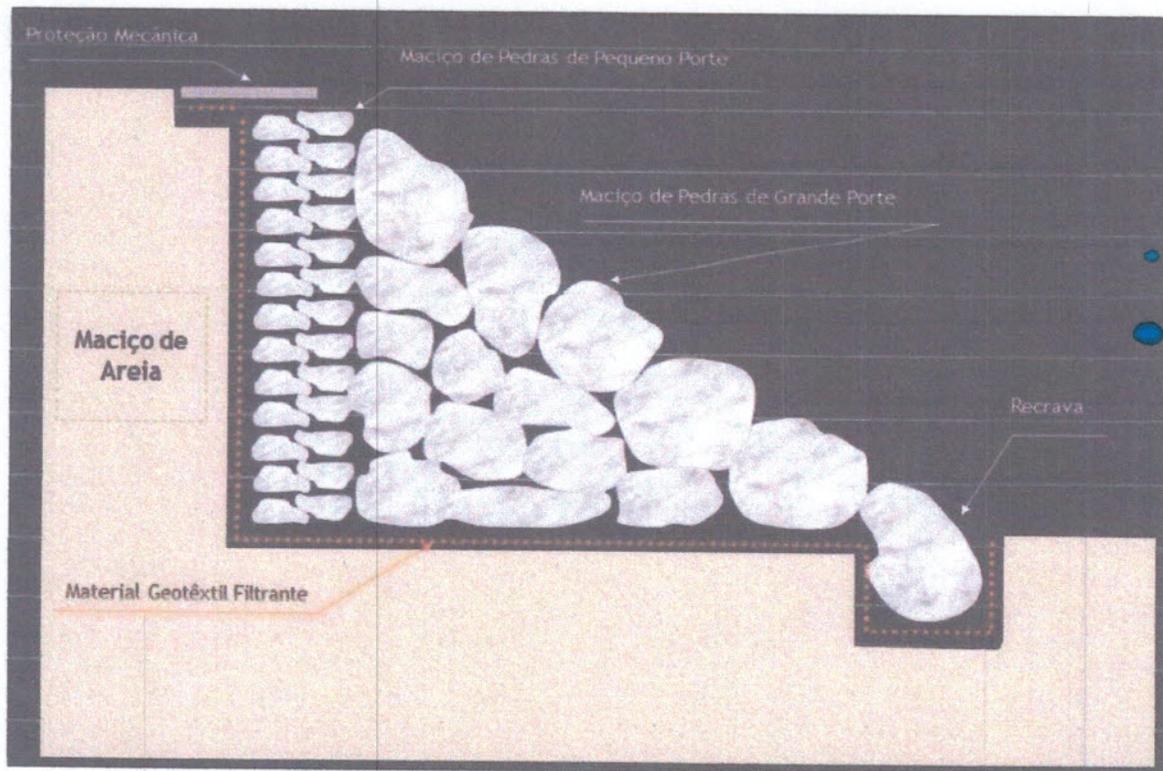
Mantém sua posição durante a ação das ondas devido ao seu peso e, em razão dessa camada ser formada por peças individuais, a estabilidade é conseguida devido ao encaixe das unidades. Essa camada protetora pode ser classificada como flexível, rígida, ou semirrígida. A camada flexível mantém suas qualidades protetoras quando a estrutura sofre deformações severas, como no caso do recalque do solo ou quando o atrito causa a remoção dos sedimentos localizados na frente da estrutura.



Os enrocamentos de blocos graníticos são os principais exemplos de proteções flexíveis (Figuras 23 e 24). O enrocamento é formado por diferentes números de camadas, formadas por blocos de tamanhos semelhantes. Os critérios para seleccionar a distribuição do peso e do tamanho das pedras são dados no CETN-III-1 e Shore Protection Manual.

As proteções semirrígidas suportam melhor as deformações, enquanto estruturas rígidas podem ser danificadas e falhar completamente se submetidas a recalque diferencial ou à perda de suporte por parte do solo subjacente.

Figura 22 – Seção tipo do enrocamento aderente.



6.2.2 – Camada Filtrante

A camada filtrante promove a drenagem apropriada e se faz necessária para manter a inclinação da fundação. Se o

revestimento retém água do solo, esta pode fluir pela interface entre o revestimento e o solo subjacente carreando o mesmo e formando cavidades em algumas áreas e pequenas acumulações em outras.

A camada filtrante mais simples consiste no uso de filtro geotêxtil (Figura 23). O geotêxtil atua de duas formas, impedindo, por um lado, que componentes individuais do revestimento sofram recalques (ajustes), e ao mesmo tempo atuando como um filtro, devendo desta forma, ser cuidadosamente selecionado para promover a drenagem necessária, enquanto promove a retenção do tipo de solo existente no local do revestimento.

6.2.3 – Proteção de Pé

As proteções típicas consistem em recravar uma camada de rocha, dimensionada para resistir aos movimentos das ondas, apoiada em material granular e/ou malha geotêxtil que impede que o solo seja carreado nas porosidades das pedras. Se o revestimento for construído em solo inconsolidado ou arenoso, uma parede de pilares finos vazados (sheet-pile cutoff wall) pode ser colocada a uma profundidade suficiente para proteger o revestimento contra escavações pelo atrito das ondas e para evitar que água subterrânea flua através da base.

6.3 – Enrocamento Aderente – Aspectos Construtivos

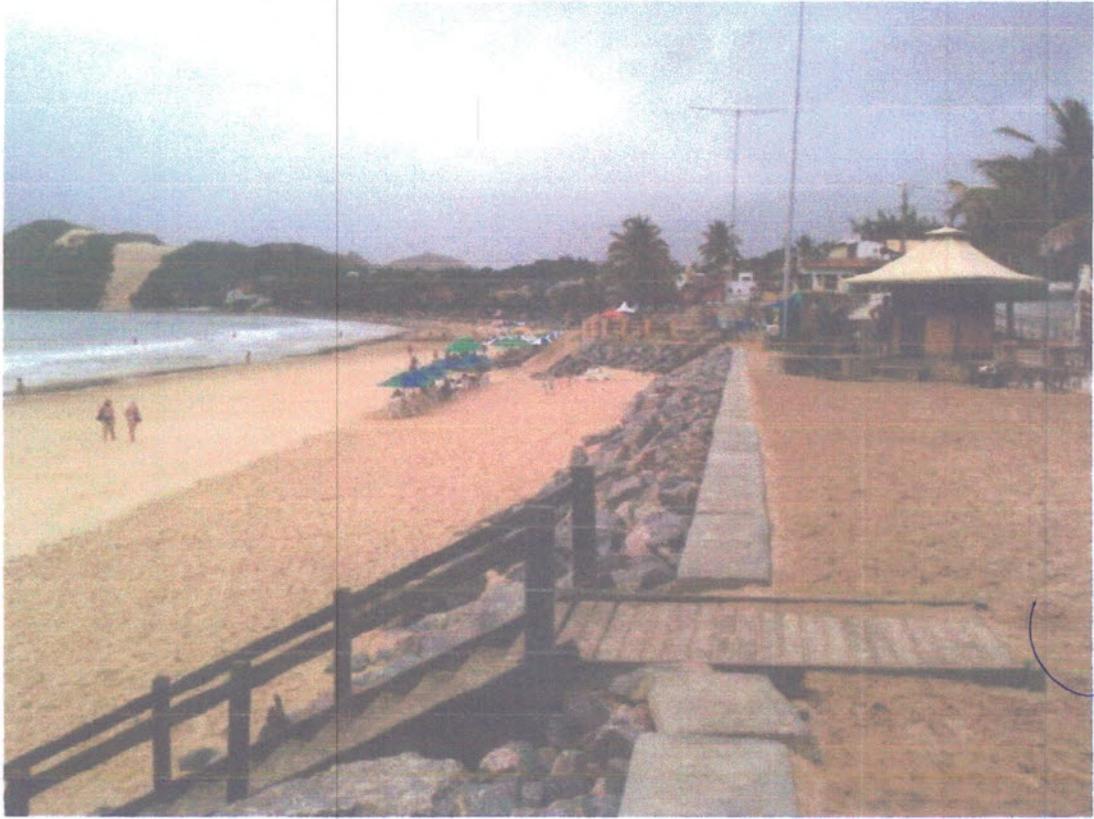
Para a construção do enrocamento serão utilizados blocos de rochas graníticas de boa qualidade, sã e compacta, inalterável a ação dos agentes atmosféricos, ao ataque químico pela água do mar e às alternâncias de emersão/submersão, devendo estar isento de substâncias vegetais, argilas, bem como de capas da jazida, de materiais intemperizados e outros estranhos a rocha sã.

e

Figura 23 – Exemplo de um enrocamento de blocos graníticos e seção tipo em construção. Detalhe da camada filtrante (Bidim) em tom de cinza.



Figura 24 – Exemplo de um enrocamento aderente de blocos graníticos já instalado na Praia de Ponta Negra/RN.



Handwritten signature in blue ink.

Handwritten signature in blue ink.

Handwritten letter 'e' in blue ink.



Em razão da granulometria e da complexidade da estrutura do maciço, faz-se necessário a separação e seleção das rochas a serem utilizadas.

Para o transporte dos blocos rochosos, deverão ser utilizados caminhões especiais, reforçados e devidamente sinalizados, uma vez que este transporte se dará em zonas urbanas. Os caminhões deverão descarregar os blocos transportados em pontos previamente determinados.

Tanto o transporte, quanto a descarga, e, principalmente, a movimentação dos blocos rochosos, deverá ser precedida de rigoroso controle de proteção, que inclui a sinalização, o isolamento e a vigilância da área. Isto em razão dos trabalhos se desenvolverem em áreas (praias) de utilização pública e de ocupação desordenada.

6.4 – Dimensionamento do Enrocamento

A complexidade da ação da agitação marítima sobre os blocos de um manto resistente torna impossível o cálculo rigoroso das forças atuantes nos mesmos. Aliada à complexidade da forma de alguns blocos e à sua colocação/disposição aleatória, o cálculo das forças reativas dos blocos adjacentes torna-se mais complexo, ou mesmo impossível, pelo que se utilizam fórmulas de estabilidade baseadas em resultados de ensaios com modelos reduzidos.

Foi com base na abordagem da agitação, considerando-a como regular que a generalidade dos métodos existentes de dimensionamento de quebra mares de taludes foi proposta, mas que, apesar de aceites e utilizados, não consideram muitos aspectos físicos relevantes. Essas fórmulas, baseadas em simplificações teóricas e nos resultados de ensaios em modelos, permitem avaliar o peso dos blocos necessário para resistir à ação da onda de projeto. São, portanto, métodos semiempíricos que,

e



apesar do elevado interesse nas aplicações práticas, possuem algumas limitações. A relativa incerteza das fórmulas é explicada pela não inclusão de alguns dos parâmetros considerados influentes na estabilidade dos quebra mares, aliada ao caráter estocástico da ação da agitação marítima sobre os blocos e respectiva resposta.

Aconselha-se, por isso, a sua utilização apenas no pré-dimensionamento da estrutura, devendo o dimensionamento final, quando tal se justifica, ser complementado com ensaios em modelo ou com resultados de experiências anteriores, nomeadamente em obras de grande envergadura. Convirá ainda salientar, uma vez que todas estas fórmulas se basearam em resultados de ensaios com modelo reduzido, que, apesar de comprovadas/validadas em muitos casos por trabalhos de campo, a sua utilização e transposição de resultados para o protótipo, deverá revestir-se de algum cuidado.

6.4.1 – Posicionamento a Partir da Linha de Base e Aterro

A linha de base foi traçada de forma a melhor posicionar a estrutura no térreo em questão, perfazendo um total de 197 metros. Está enraizada a leste em estrutura de concreto da barraca adjacente, seguindo para oeste por 152m a uma equidistância de 18 metros da base das barracas (muro de arrimo), e finalizando na direção da estrada por 39 metros, e uma segunda inflexão de 6 metros para criar uma ombreira de proteção.

A partir das seções topográficas transversais à linha de costa foi possível dimensionar o posicionamento da linha de base que consiste do ponto inicial de instalação da estrutura do enrocamento. No presente caso a linha de base está posicionada a 18 metros do muro de arrimo das barracas entre os perfis 8, 10, 12, 14, 16 e 18 metros para o perfil 19 localizado na extremidade oeste. Toda a estrutura do enrocamento irá alcançar a cota de 4,5



metros, onde pode ser vista nas seções topográficas (Figuras 25 e 26).

Além do posicionamento inicial da estrutura do enrocamento foi possível estimar o volume do aterro, localizado na porção onshore da obra, para toda a extensão da faixa de praia. O volume de areia por seção topográfica consta na tabela 2. O valor do volume total de areia para o aterro foi estimado a partir da média entre os volumes das seções acrescentada de 20%, multiplicada por toda a extensão a ser preenchida pelo aterro, (150 m), que corresponde aproximadamente ao comprimento do muro de arrimo.

Tabela 2 – Volume de areia de aterro por seção.

Perfil/Seção	Volume Linear de Areia/Seção (m³/m)	Volume Linear de Areia/Seção + 20% (m³/m)
8	35.2	42.3
10	33.8	40.5
12	29.7	35.6
14	27.5	33.0
16	27.9	33.4
18	30.4	36.5
19	28.0	33.6
20	11.0	13.2
Média	27.9	33.5
Volume Total		5934.5

*para compensar perda no transporte, compactação de terreno (empolamento).

$$\text{Volume Total do Aterro: } 33,5 \times 177 = 5.934,5 \text{ m}^3$$

Handwritten signatures and initials in blue ink.