

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SOCIEDADE E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

LUCA LÄMMLE

IMPACTOS DAS OBRAS COSTEIRAS NA MORFOLOGIA DA LINHA DE COSTA: O
CASO DO PORTO DO AÇU, MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA BARRA, RJ.

Campos dos Goytacazes

2015

UFF - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SOCIEDADE E DESENVOLVIMENTO REGIONAL
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

LUCA LÄMMLE

IMPACTOS DAS OBRAS COSTEIRAS NA MORFOLOGIA DA LINHA DE COSTA: O
CASO DO PORTO DO AÇU, MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA BARRA, RJ.

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
banca examinadora do curso de graduação da
Universidade Federal Fluminense como requisito para
obtenção do título de bacharel em Geografia.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Eduardo Manuel Rosa Bulhões

Campos dos Goytacazes

2015

LUCA LÄMMLE

IMPACTOS DAS OBRAS COSTEIRAS NA MORFOLOGIA DA LINHA DE COSTA: O
CASO DO PORTO DO AÇU, MUNICIPIO DE SÃO JOÃO DA BARRA, RJ.

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de graduação da Universidade Federal Fluminense como requisito para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Defendida no dia 16 de dezembro de 2015.

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Manuel Rosa Bulhões (orientador)
UFF-Universidade Federal Fluminense

Prof. Dra. Sandra Fernandes de Andrade
UFF-Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Thiago Pinto da Silva
UFF-Universidade Federal Fluminense

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento da minha graduação e para a realização deste trabalho, em especial à minha família, aos meus amigos, e aos professores da instituição, que sempre se colocaram à disposição.

Aos meus pais, Roberto e Nayse, agradeço imensamente por sempre me proporcionarem uma educação de qualidade e por não terem medido esforços durante todo esse processo, pois sem isso eu não poderia ter chegado até esta etapa. Não poderia faltar um agradecimento mais do que especial para minha mãe, que mesmo em outro país e apesar das dificuldades durante toda essa trajetória, se manteve presente como ninguém.

Ao meu orientador Eduardo, agradeço pela persistência e incentivo na realização deste trabalho, sempre com inovações e utilização de novas ferramentas para chegar a novos resultados, exercitando o trabalho científico. Agradeço também pela paciência e por dedicar parte do seu tempo me ensinando diferentes metodologias, tanto em programas computacionais quanto em banco de dados.

Aos amigos do LAGEF – Laboratório de Geografia Física, foi fundamental participar desse grupo durante esses anos, talvez se não fosse esse espaço na universidade eu não teria tanto estímulo para concluir tudo, a torcida e incentivo de um pelo outro contribui muito para o êxito de todos.

RESUMO

Com construção iniciada em outubro de 2007 e área total de 90 km², o Porto do Açú é um complexo portuário privativo de uso misto e se trata de um projeto inovador da empresa Prumo – logística global, com dois terminais, um *offshore (costa afora)* e outro *onshore (costa adentro)*, em construção no município de São João da Barra, localizado no litoral Norte Fluminense, próximo à Bacia de Campos, área responsável por 85% da produção de petróleo e gás do Brasil. O objetivo deste trabalho é identificar as alterações ocorridas na morfologia da linha de costa do litoral, que abrange a área de influência direta do Porto do Açú a partir da construção das obras costeiras relacionadas ao porto e pretende demonstrar a dinâmica da linha de costa antes e após a instalação das obras portuárias. As crescentes intervenções que vem sendo feitas na área de estudo é a principal justificativa para a realização deste estudo. Os resultados mostraram que houve uma progradação na linha de costa de 7,792 hectares e retrogradação de 1,325 hectares. Tais resultados estão baseados na posição da linha de costa em seis diferentes anos, partindo do que está disponível no *Google Earth Pro* e posteriormente a utilização de softwares de geoprocessamento para obter estes números.

Palavras-chave: Porto do Açú; Obras Portuárias; Linha de Costa; Progradação; Retrogradação.

ABSTRACT

With its construction initiated in October 2007 and a whole area of 90 km², the Açú Port is a private port complex of mixed utilization, being an inovative project of Prumo - global logistics, with two terminals, being one offshore and the other one onshore, at the stage of construction in the city of São João da Barra, located in the Fluminense North littoral, near Campos Basin, an area which is responsible for 85% of oil and gas production in Brazil. The objective of this dissertation is identifying the alterations that occurred in the morphology of the littoral coastline, which comprises the direct area of influence of Açú Port from the coast constructions related to the port and intend to demonstrate the dynamics of the coastline before and after the placement of the port buildings. The increasing interventions which are being made in the studyied area are the main reason for the development of this study. The results showed that a progradation of 7.792 hectares and a retrogradation of 1.325 hectares in the coastline took place. Such results are based in the position of the coastline in six different years, from what is available in Google Earth Pro and subsequently the use of geoprocessing softwares in order to obtain these numbers.

Key Words: Açú Port; Port Buildings; Coastline; Progradation; Retrogradation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Áreas de Influência Direta (AID) e indireta (AII) na Região Costeira, adjacente ao Porto do Açu.....	12
Mapa indicando o sentido do transporte litorâneo ao longo do litoral Norte Fluminense.....	14
Quebra-mar do Terminal Portuário do Pecém, Ceará.....	18
Espigão Costeiro da Ponta d'Areia, construído pelo Governo do Estado em São Luís para conter o avanço da erosão na área e desassorear o canal.....	19
Molhe da Barra, em Rio Grande/RS.....	20
Exemplo de dragagem realizada em Alicante, Espanha.....	21
Imagem de satélite com altitude de 1km na área de estudo para exemplificar a metodologia.....	23
Conjunto de imagens utilizadas na metodologia.....	24
Quantificação em área das alterações na linha de costa entre 2003 e 2015.....	26
Comparação entre a linha de costa da área de estudo em 2010 e em 2015.....	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO	10
3. JUSTIFICATIVA	11
4. ÁREA DE ESTUDO	11
5. REVISÃO CONCEITUAL	15
5.1 - Linha de costa e delimitação da linha de costa.....	15
5.2 - Obras de Abrigo Portuário e Impactos na Linha de Costa.....	17
5.3 - Dinâmica Costeira e Alteração da Linha de Costa.....	21
6. MATERIAIS E MÉTODOS	22
7. RESULTADOS	23
8. CONCLUSÕES	27
9. REFERÊNCIAS	27

1 - INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são consideradas ambientes extremamente frágeis e importantes para o meio ambiente, por se tratarem de ecossistemas limítrofes, de transição, e comportam diferentes tipos de clima, como é o caso do litoral brasileiro, que varia do úmido equatorial e tropical ao semiárido no Nordeste, além do subtropical no Sul (NORDSTROM, 2010). São importantes também pela diversidade de ecossistemas existentes nestes ambientes, que além das praias arenosas, destacam-se estuários e lagoas costeiras, sistemas lagunares margeados por manguezais, praias lodosas, costões rochosos, recifes de coral, plataformas arenosas, bancos de algas calcárias, restingas, ilhas costeiras e oceânicas, etc. Portanto, as áreas costeiras se alteram a todo o momento, intensificando ainda mais esse processo quando há interferência humana impondo algum obstáculo na dinâmica natural do oceano.

No Brasil, em função da maior ocupação nas áreas litorâneas ao longo da história e o desenvolvimento de técnicas e conhecimentos sobre o oceano em resposta ao crescimento econômico, os portos e conseqüentemente as obras portuárias, que tem como finalidade a criação de uma área protegida para as operações frente à agitação oceânica (exceto os portos em mar aberto, que podem ser na forma de píeres ou *Jetties*, por exemplo), vem se tornando cada vez mais comuns.

O Porto do Açu é um complexo portuário privativo de uso misto e se trata de um projeto inovador da empresa Prumo – logística global, com dois terminais, um *offshore (costa afora)* e outro *onshore (costa adentro)*, em construção em São João da Barra (RJ), próximo à Bacia de Campos, área responsável por 85% da produção de petróleo e gás do Brasil. De acordo com o projeto inicial, ele terá 17 km de píeres e poderá receber até 47 embarcações, segundo a Prumo logística. O empreendimento estará preparado para receber navios de grande porte, como *Capesize* e *Very Large Crude Carrier (VLCCs)*, que transportam até 320 mil toneladas de carga. Segundo a empresa responsável pelo porto, atualmente, somente 7% dos portos brasileiros possuem capacidade para receber navios *capesize*.

Com construção iniciada em outubro de 2007 e área total de 90 km², o canal de acesso ao Porto do Açu terá profundidade de até 25 metros e se localiza a 15 km ao norte do Cabo de São Tomé / 30 km ao sul do Rio Paraíba do Sul.

Na análise do RIMA, produzido para fins de licenciamento ambiental, foi verificado que está previsto que um processo erosivo decorrente das intervenções físicas que seriam realizadas

no ambiente costeiro local para viabilizar o empreendimento. Por exemplo, na página 68 do RIMA da UCN/OSX está indicado que um dos impactos ambientais previstos seria a “alteração da hidrodinâmica marinha e dos processos de erosão e sedimentação praial”. Ainda no RIMA da UCN/OSX, página 71, é apontado que essas mudanças teriam caráter irreversível. Já na página 80 está salientado que as modelagens apontaram no sentido de que haveria um processo discrepante de “engordamento” próximo ao quebra-mar (molhe) sul e de tendência à erosão no trecho subsequente ao engordado. Em função disso, o RIMA da UCN/OSX considera que o grau de relevância do impacto seria muito alto. Entretanto, já é possível perceber as alterações na linha de costa em um pequeno intervalo de tempo em função da construção de algumas obras costeiras do tipo quebra-mar, guia corrente e espigão (molhe). Tais alterações podem ser identificadas a partir das imagens de satélite disponíveis no Google Earth (2003 a 2014), onde se pode verificar um acúmulo de sedimentos na parte sul da área portuária.

Esse tipo de alteração na morfologia da linha de costa já foi identificado em outros locais onde existem obras portuárias. *Magine et al.* (2011) em um estudo sobre a zona costeira sob influência do porto do Pecém, no Ceará, puderam avaliar tais mudanças no período entre 2005 e 2009 nos perfis de praia, em que se verificou progradação da linha de costa, chegando até centenas de metros em alguns perfis. Tais mudanças ocorreram em função de um aporte sedimentar que foi interpretado como resultante das edificações portuárias no que se refere à sedimentação costeira. Martinez (2009) em sua dissertação de mestrado também identificou alterações desse tipo na zona costeira sob influência do porto do Tubarão, em Vitória, no Espírito Santo, onde mostra que as obras portuárias influenciam na direção média do fluxo de energia nas praias adjacentes. O autor também mostra que, em longo prazo, a tendência da praia de Camburi é sofrer uma rotação acentuando os processos erosivos na porção ocidental.

2 – OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é identificar as alterações ocorridas na morfologia da linha de costa do litoral que abrange a área de influência direta do Porto do Açú a partir da construção das obras costeiras relacionadas ao porto. O objetivo específico é demonstrar a dinâmica da linha de costa antes e após a instalação das obras portuárias, além de mensurar os valores das áreas alteradas, aplicando o uso de ferramentas de geoprocessamento e verificando as alterações horizontais na linha de costa. A hipótese é de que as obras de engenharia do porto

alterarão a dinâmica litorânea e a posição da linha de costa em sua área de entorno num curto período de tempo.

3 - JUSTIFICATIVA

A principal justificativa para a realização deste trabalho são as crescentes intervenções que vem sendo feitas na área de estudo, onde já é possível identificar problemas de erosão costeira (ex. Praia do Açú) e alterações na posição da linha de costa, além da demanda de conhecimento sobre esta área em função do contexto ser relativamente recente. Vale ressaltar que estes acontecimentos colocam em risco não só a integridade dos sistemas naturais, como também colocam em risco as comunidades que vivem e possuem suas instalações no litoral, o que instiga ainda mais o desenvolvimento deste trabalho.

4 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na bacia de Campos, especificamente no litoral norte fluminense, município de São João da Barra, distrito do Açú (Figura 01).

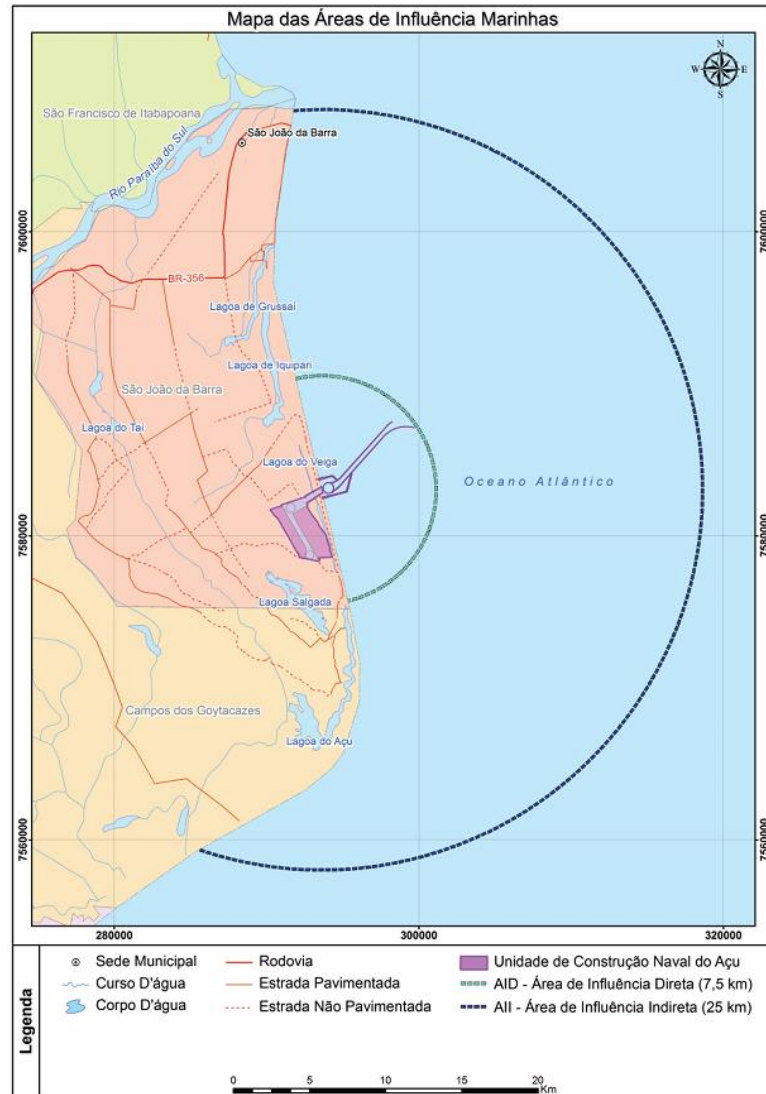


Figura 01 – Áreas de Influência Direta (AID) e indireta (AII) na Região Costeira, adjacente ao Porto do Açú. Fonte: RIMA Porto do Açú.

A bacia de Campos situa-se na extremidade meridional da costa leste brasileira, na costa norte do estado do Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo. Delimita-se ao sul pelo Alto de Cabo Frio que separa da Bacia de Santos e ao norte pelo Alto de Vitória que separa da Bacia do Espírito Santo (RANGEL *et al.*, 1994). A área de estudo está integrada na porção superior da referida bacia, na costa do litoral norte do estado do Rio de Janeiro, especificamente no distrito do Açú, localizado ao sul do município de São João da Barra. É a principal bacia sedimentar já explorada na costa brasileira e possui uma área de aproximadamente 100 mil quilômetros quadrados, segundo a Petrobrás.

A planície costeira do rio Paraíba do Sul está inserida numa área caracterizada como de clima tropical úmido, com temperatura média de 22°C. Apresenta uma estação chuvosa no verão e uma estação seca no inverno, indicando uma média anual de 1.300 mm (Costa, 1994 *apud* Bastos, 1997). Segundo Bernardes (1957), o mês de dezembro é tido como o mês com maior índice pluviométrico, com cerca de 150mm. Os ventos dominantes provêm do quadrante Nordeste (NE), associado à influência da Alta Pressão do Atlântico Sul, com velocidade em torno de 5-10 nós em média. Associados a passagem de frentes frias, os ventos Sul (S), Sudeste (SE) e em menor expressividade os de Sudoeste (SW) atingem a região principalmente no outono e no inverno (Pinho, 2003 *apud* Guimarães, 2005). Quanto à altura das ondas (Ho), observa-se uma altura média compreendida entre 1,6 e 2,0m. Observou-se ainda que as ondas com alturas superiores a 3,0 m são mais frequentemente oriundas dos quadrantes Sul (S) e Sudoeste (SW). Embora ocorra uma frequência bastante superior das ondas de Nordeste (NE) e Leste (E), quando comparada à distribuição de energia das ondas por direção de incidência e por mês, observa-se que as ondas de Su-Sudeste (SSE), Sul (S) e Su-Sudoeste (SSW) embora pouco frequentes, são as que concentram maior energia (Muehe & Correa, 1989). Segundo informações da DHN para a Ponta de Imbetiba em Macaé, a amplitude de maré alcança 1,3 m em sizígia, caracterizando o regime de micro maré.

A atual planície costeira faz parte do complexo deltaico do rio Paraíba do Sul. Segundo Dias (1981), este complexo pode ser entendido como um conjunto de ambientes sedimentares relacionados, principalmente, a diversas fases de evolução do delta do rio Paraíba do Sul. Os processos evolutivos que desencadearam as principais transformações morfológicas no delta foram apresentados entre outros trabalhos por Dias & Gorini (1980); Dominguez *et al.* (1981); Martin *et al.* (1984); Silva (1987); Bastos (1997). Apesar de algumas considerações discordantes em relação à evolução da área, em todos os trabalhos é consenso que o atual sistema de cristas de praia associadas à desembocadura do rio Paraíba do Sul foi formado numa situação regressiva do nível relativo do nível do mar, criando condições para um ambiente progradante da linha de costa nos aproximados últimos 5.000 anos.

As alterações na circulação hidrodinâmica marinha e dos processos de erosão e sedimentação na faixa costeira, sobretudo dentro da Área de Influência Direta (AID), são induzidas pelas atividades de dragagem do canal de acesso/atracação e da construção dos guias-corrente.

Cassar e Neves (1993) elaboraram um estudo sobre o residual de transporte litorâneo para as áreas costeiras na Bacia de Campos, e o principal resultado deste trabalho mostra um residual de transporte litorâneo de sedimentos direcionado para o norte na área de Barra do Açu na ordem de $500\text{m}^3/\text{dia}$.

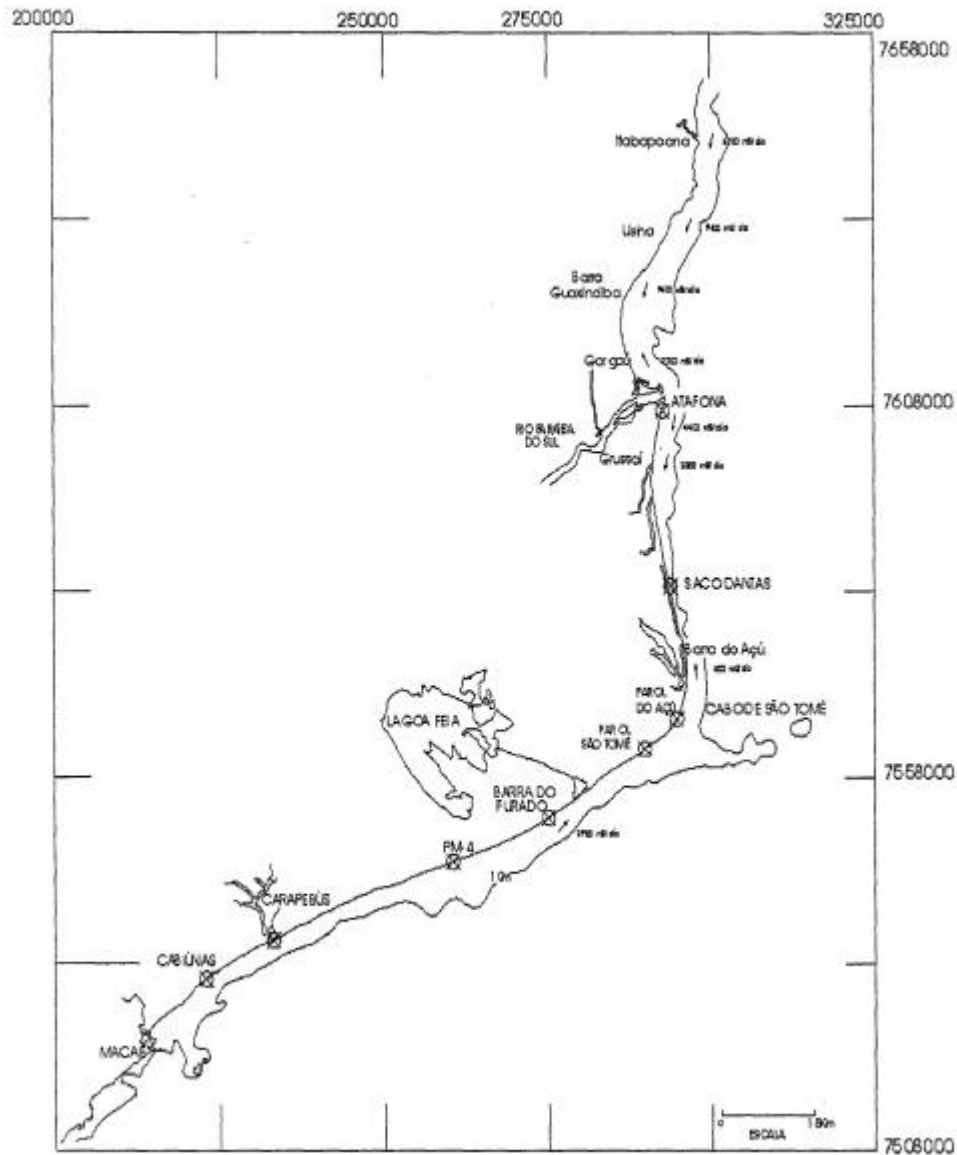


Figura 02 - Mapa indicando o sentido do transporte litorâneo ao longo do litoral norte fluminense por Cassar & Neves (1993), e a localização das estações de perfilagem ao longo do litoral. (Projeção UTM, Meridiano Central-39).

Bastos e Silva (2000) frisam que o perfil de praia na localidade do Açu tem uma largura média de 100m, com um pós-praia plano com declive suave, marcado por uma crista de berma

elevada seguida por uma face de praia íngreme (8°) e composta por areia grossa (0,670mm). Normalmente, os perfis erosivos que se desenvolvem durante os períodos de tempestade, são caracterizados por um recuo da face da praia, que mantém seu alto gradiente, seguindo uma crista de berma. A principal característica do perfil de Farol do Açú é seu alto índice de mobilidade, sem que apresente tendências erosivas (naturais) notáveis como em Atafona. Vale ressaltar que a referida área está localizada geograficamente no Cabo de São Tomé onde o litoral ao norte com direção NNW-SSE sofre uma inflexão para SW-NE.

5 – REVISÃO CONCEITUAL

5.1 - Linha de costa e delimitação da linha de costa

Uma básica definição para a linha de costa é a “linha que representa as bordas de um corpo d’água” (Dolan *et al.*, 1978). Entretanto, as variações à que estão sujeitos esses ambientes e suas interfaces fazem com que essa linha seja extremamente dinâmica, apresentando constantes mudanças de posicionamento, sendo a definição de sua localização um pouco mais complexa.

A linha de costa brasileira foi delimitada a partir do Decreto-Lei n° 9.760 de 05 de setembro de 1946 (Diário Oficial da União, 1946), com base na linha média de preamares de 1831. Esta lei instituiu a cobrança de impostos sobre uma faixa continental de 33m medidos a partir da linha média de preamares, faixa esta denominada de terrenos de marinha. Em fevereiro de 1998, foi promulgada outra Lei federal sob n° 9.636 (Serviço Público da União, 2005), a qual estabeleceu a obrigatoriedade de compra dessas terras, para os proprietários que não comprovassem ter a sua posse a mais de 01 ano. Esta lei vem sendo constantemente protestada, por conta das inconsistências causadas por este indicador na definição da linha de costa. A posição ocupada pela linha de costa à época do decreto que instituiu seu indicador (linha média de preamares) tem sido alvo de pesquisas, como por exemplo, o estudo de Lima (2002) sobre “Localização geodésica da linha da preamar média de 1831 – LPM/1831”, em que aborda o problema da demarcação dos terrenos de marinha e seus acrescidos, desenvolvendo uma metodologia e estabelecimento de um modelo científico que possibilita a localização geodésica da “Linha da Preamar Média de 1831 - LPM/1831” a partir da análise harmônica dos dados de marés de longo período, de modo que atenda a exatidão e a precisão das medidas compatíveis com as necessidades do levantamento cadastral destas parcelas imobiliárias inseridas entre os

bens da União. Contudo, em virtude da dinâmica constante da linha de costa, a posição geográfica da linha média de preamares em 1831, em muitos lugares, já não corresponde mais com a realidade no que se refere à confrontação do mar com o continente.

A posição da linha de costa é resultado de interações morfodinâmicas, controlada principalmente pelas características das ondulações geradas pelos sistemas meteorológicos e pelo balanço hídrico e sedimentar resultante entre o aporte continental e marinho. Somam-se a isso, as variações do nível do mar (Villwock & Tomazelli, 1995).

Dentre os principais indicadores na análise da mudança da linha de costa, Smith e Zarillo (1990), Anders e Byrnes (1991) e Zhang *et al.* (2002), discutem a aplicação da linha de maré alta, onde segundo eles, torna-se facilmente identificada devido a uma mudança de tom do sedimento que ocorre no local onde a água atinge seu ponto máximo. Hoek *et al.* (2001), entretanto, discordam da utilização desse indicador pois segundo eles, essa marca pode não ser nítida, e em alguns casos sequer aparecer como uma zona de transição ou simplesmente não aparecer na fotografia aérea. Fischer (2005) considera a linha da água como a feição menos confiável, já que é suscetível às variações de curto período; sendo, porém, considerada como bom indicador em praias arenosas de baixa declividade e areia fina por Absalonsen e Toldo Jr. (2006).

Norton (1997) e Marone (2007) sugerem que um dos melhores indicadores da linha de costa é a vegetação costeira, pois é pouco mutável em períodos curtos, eliminando a dificuldade de definição da hora da maré e sua extensão horizontal.

Partindo da ideia de Kraus & Rosati (1997), as definições padrão em regra utilizadas para definir a linha de costa, num determinado momento são:

- MHWL – *Mean High Water Line / Shoreline* (Linha Média da Preamar Viva) – relacionado com um datum maregráfico, correspondente à média de todas as situações de preamar viva que ocorreram num período de 19 anos.
- HWL – *High Water Line* (Linha de Preamar) – Não corresponde a um datum altimétrico específico (e.g. nível médio do mar), mas tipicamente baseada num dos seguintes critérios geomorfológicos: linha de berma, crista da praia, base de dunas ou de arribas.
- Fronteira Seco / Molhado – fortemente dependente da própria praia, nível do mar, ondulação, regime de vento, etc. Não relacionado com um datum vertical específico e derivado da diferenciação de tonalidades visíveis através das fotografias aéreas.

- Linha de Água – linha de contato entre a areia da praia e a água. Também não diz respeito a um dátum vertical específico, mas está relacionada com uma fase da maré. É uma fronteira móvel e também se relaciona com a incidência da ondulação ou outro tipo de movimentos da água do mar junto à costa.
- Linha definida por dunas ou arribas – no caso dos cordões dunares deve ser interpretada como uma HWL típica de uma praia estreita sem berma associada. Não se deve relacionar com um dátum maregráfico, mas pode ser interpretada através da base ou no caso dos sectores de arriba através do topo. Para além destes critérios, existem elementos que dificultam a definição da posição da linha de costa, como: variações de longo prazo (cíclicas ou aleatórias), ou de curto prazo (relacionadas com episódios extremos). Os procedimentos de medição afetam, sobretudo, o rigor posicional bem como a própria interpretação geomorfológica ou visual que se faz dessas mesmas linhas. No fundo, existe uma variação entre os fatores relacionados com processos físicos ou características do local, por oposto aos fatores derivadas dos processos de medição e interpretação.

Neste trabalho será utilizada a fronteira seco/molhado como base para definir a linha de costa na área de estudo, tendo como justificativa o fato de ser facilmente identificada por diferentes olhares, mais ou menos técnicos, além de atender as necessidades para os possíveis resultados deste trabalho.

5.2 – Obras de Abrigo Portuário e Impactos na Linha de Costa

As obras de abrigo têm como funções reduzir os efeitos das correntes marítimas que atingiriam os navios atracados, além de conter o avanço da erosão na área e desassorear o canal, melhorando a navegabilidade das embarcações. Dentre as diversas obras portuárias existentes, no Porto do Açu é possível identificar a existência de três: Quebra-mar, Guia-corrente e Espigão, que geralmente são obras comuns em portos. Caracterizando cada uma, de acordo com Alfredini & Arasaki, 2009, temos o seguinte:

Quebra-mares: São elementos concebidos para travar a ação das ondas numa determinada área. São usados para proteger a costa, sendo posicionados de forma paralela à mesma, possuindo as duas extremidades dentro do mar. Esta proteção acontece devido às características destas estruturas, que dissipam e refletem a energia das ondas que as atingem. Desta forma, os quebra-mares são utilizados nos portos com o objetivo de facilitar a amarração

de barcos, as operações de movimentação de cargas e a manutenção de navios, além de assegurarem a proteção das instalações portuárias propriamente ditas. Pode-se visualizar um exemplo de quebra-mar na figura 03.



Figura 03 – Quebra-mar do Terminal Portuário do Pecém, Ceará. Fonte:
<http://www.seplag.ce.gov.br>.

Espigões: São estruturas transversais que se estendem do pós-praia, suficiente enraizadas para não serem contornadas pelo espraiamento das ondas, após a linha de arrebenção mais externa, agindo diretamente sobre o transporte de sedimentos litorâneo na faixa em que ele é mais significativo e podem ser usados em conjunto ou isoladamente. Tem como funções interceptação de parte, ou totalidade, do transporte de sedimentos litorâneo, por meio de deposições (assoreamento); estabilização de praia sujeita a variações periódicas; alargamento de praia para fins balneários, ou de reurbanização; evitar assoreamento a sotamar (contenção de restingas ou flechas, por exemplo); complemento de fixação para a alimentação artificial.



Figura 04 - Espigão Costeiro da Ponta d'Areia, construído pelo Governo do Estado em São Luís para conter o avanço da erosão na área e desassorear o canal. (Foto: Antônio Martins).

Molhes (ou Guia Corrente): São estruturas longas e estreitas concebidas com o intuito de estabilizar canais de navegação, criar locais adequados de atracação que facilitem as manobras das embarcações, constituir zonas de abrigo contra ondas de tempestades e, ainda, proporcionar abrigo contra as correntes marítimas desfavoráveis na zona onde estão implantadas. O molhe possui uma extremidade em terra e a outra em mar.



Figura 05 – Molhe da Barra, em Rio Grande/RS. (Foto: Hilton Franco).

Dragagem: As obras de dragagem são essenciais para o desenvolvimento e a manutenção da navegação oceânica e fluvial. Basicamente, consiste na retirada do material sedimentar depositado recentemente, com a finalidade de manter a profundidade do canal propiciando a movimentação de embarcações de vários tamanhos (Bray, et al., 1997).



Figura 06 – Exemplo de dragagem realizada em Alicante, Espanha. A imagem compara antes e após o reabastecimento. Disponível em www.iadc-dredging.com.

5.3 – Dinâmica Costeira e Alteração da Linha de Costa

As zonas costeiras representam as áreas de interação entre o mar e o continente. São áreas intensamente dinâmicas, que sofrem transformações constantes, em escalas temporais e espaciais distintas, respondendo a forças humanas e naturais. Essas dinâmicas as tornam áreas de extrema sensibilidade ambiental (NEVES, 2008).

Para Muehe (1994) os processos da dinâmica costeira se constituem através da ação de agentes que provocam erosão, transporte e deposição de sedimentos e levam à constantes modificações na configuração da paisagem litorânea. O mesmo autor afirma ainda que esses processos se iniciam com a sequência de avanços e recuos do oceano, que remodelam a costa brasileira desde 130 milhões de anos atrás quando a América do Sul iniciou seu processo de separação do continente africano.

Já Christofolletti (1979) realizou a divisão dos processos morfogenéticos litorâneos em quatro fatores principais: o fator geológico, no qual têm importância os antigos processos de gênese além da fonte de sedimentos e da composição litológica, que está intimamente relacionada com a capacidade dos processos erosivos atuarem de forma mais ou menos impactante, a depender da resistência dos materiais que compõem a rocha; o fator climático possui grande importância, pois controla o processo de meteorização dos afloramentos

rochosos, que sofrem a ação dos processos físicos, químicos e biológicos; já o fator biológico está intimamente relacionado com as condições climáticas e pedogenéticas, pois condicionam a existência ou não de determinado tipo de organismo, os quais produzem processos erosivos através da escavação e transporte, ocasionando a degradação dos minerais das rochas ou facilitando a retenção dos sedimentos; o fator oceanográfico interfere através da salinidade das águas, da ação das ondas, da maré e das correntes. O vento também apresenta função importante na morfogênese litorânea, já que pode formar dunas costeiras e influenciar nas ondas e correntes, que juntamente das marés, estabelecem padrões de circulação das águas marinhas nas zonas litorâneas e sub-litorâneas.

Muehe (1998) identifica ainda três importantes fatores oceanográficos que influenciam na conformação da paisagem litorânea: o clima de ondas que se caracteriza como o principal processo da transformação costeira em curto e médio prazo sendo responsável pelo transporte de sedimentos na linha de costa. Para Tessler & Goya (2005), o clima de ondas é determinado pela ação dos ventos originados no Atlântico Sul, que no caso do continente Sul Americano, são controlados por três grandes sistemas atmosféricos: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), responsável pela circulação do litoral norte do Brasil; o Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS), centro de alta pressão responsável pela origem dos ventos alísios; e Anticiclones Polares Migratórios (APM), centros de alta pressão responsáveis pela passagem dos sistemas frontais. O segundo e terceiro fator são a energia das ondas e a intensidade de tempestades, que comandam a dinâmica dos processos de abrasão e acumulação de sedimentos sobre a interface da zona costeira.

6 - MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho é a pesquisa bibliográfica e utilização de imagens de satélite para digitalização da fronteira seco/molhado (exemplo na figura 7) no período antes do início das obras do porto até às condições atuais, além do uso de *softwares* como o *QuantumGis* e *ArcGis* para obter resultados mais detalhados e de fácil leitura.



Figura 07 – Imagem de satélite disponível no *Google Earth Pro*.

As imagens foram obtidas através do Google Earth Pro, onde, para a área de estudo trabalhada, estão disponíveis arquivos dos anos de 2003, 2010, 2011, 2013, 2014, e 2015. Vale ressaltar que as obras do porto se iniciaram em 2009, ou seja, partindo do que foi disponibilizado pelo Google Earth Pro, é possível visualizar o litoral antes e durante a construção das obras.

Através das imagens disponíveis no *Google Earth Pro*, foi feita a digitalização da linha de costa em arquivos vetoriais do tipo *shape* através do software *QuantumGis*, que posteriormente permitiu a sobreposição e diferenciação das linhas dos respectivos anos da linha de costa através de cores no *ArcGis*, ou seja, cada cor representa a linha de costa referente a um determinado ano. Os critérios utilizados para o limite da digitalização foi de 3,5km ao norte do canal do porto, e 7km ao sul (até a comunidade em Barra do Açú) com a justificativa de que acima de 3,5km ao norte já não existem mais alterações significantes, diferente do que ocorre ao sul do terminal 2 (molhe sul), onde as alterações são mais nítidas em uma faixa de até 7km. Em relação à escala de visualização da linha de costa para a delimitação da fronteira seco/molhado, foi utilizada a elevação de 1km acima do nível do mar, como visto na figura 06.

7 - RESULTADOS

Os resultados deste trabalho estão baseados na posição da linha de costa em seis diferentes anos, partindo do que está disponível no Google Earth Pro e fazendo a sobreposição das linhas que foram demarcadas na linha de costa das imagens anteriores com a imagem atual do referido litoral da área de estudo. A linha vermelha representa a linha de costa daquele litoral na referida data que está na parte superior de cada imagem, tendo como fundo a imagem do momento atual.

O dimensionamento perpendicular à linha de costa promove acúmulo dos sedimentos arenosos ao Sul do guia-corrente, sedimentos estes que estariam sendo transportados para o Norte. Além disso, os sedimentos que viriam transportados do Norte para o Sul, também tendem a ficar retidos junto às outras estruturas posicionadas para a proteção do porto (quebramar/molhe norte).

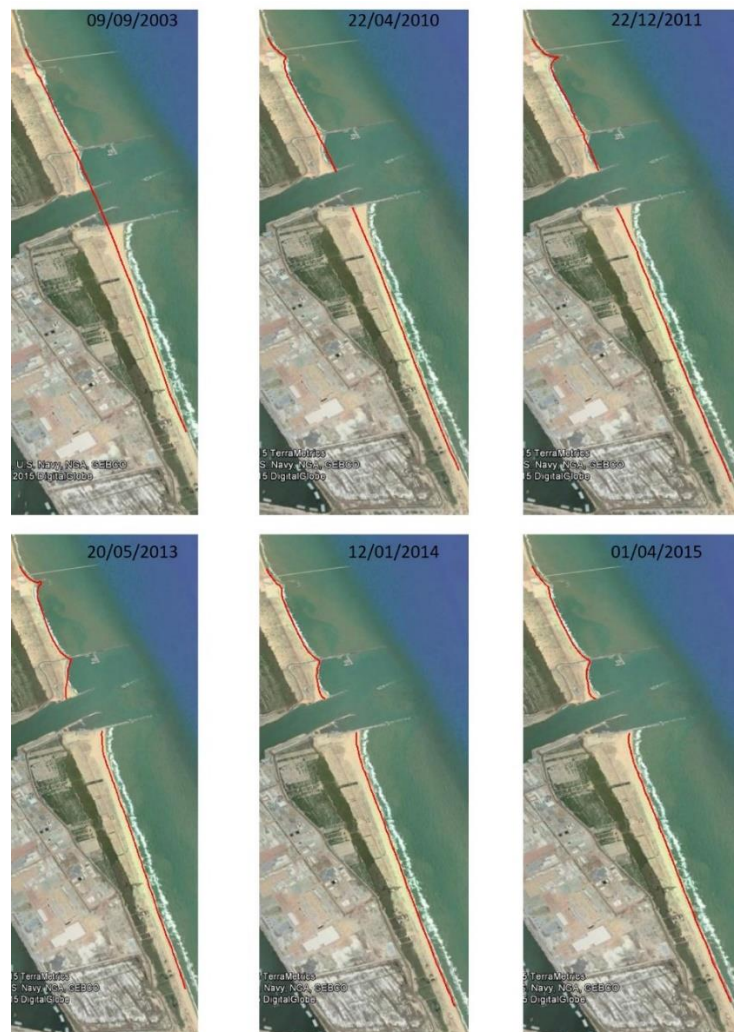


Figura 08 – Imagens de satélite utilizadas na metodologia deste trabalho, disponíveis no *Google Earth Pro*.

Em relação à progradação (avanço da linha de costa) e retrogradação (recoo da linha de costa) da área de estudo, foi visto que ao sul do guia-corrente houveram os maiores avanços e acúmulo sedimentar devido ao contato direto dos sedimentos com a referida obra portuária. Na medida em que se afasta do guia-corrente em direção ao sul, esse acúmulo vai diminuindo, sendo possível observar outros efeitos progradantes e retrogradantes de pequena intensidade (dimensão espacial) ao longo da costa até a comunidade do Açú, limite da área de estudo.

Em 2014, foi apresentado um estudo coordenado pelo professor Paulo Cesar Colonna Rosman (COPPE/UFRJ) também relacionado a esta questão, encomendado pela LLX Logística S.A. em 2011, que posteriormente passou os direitos de tal contrato para a Prumo – Logística Global. O estudo teve como objetivo analisar a evolução da linha de costa adjacente ao terminal TX2 do Porto do Açú e a necessidade de implantação de mecanismos para transpasse de sedimentos, além de associar isso à erosão que vem ocorrendo na Barra do Açú. De acordo com o professor, é possível que a erosão em Barra do Açú tenha causas similares à da região do litoral Norte de Atafona, onde há rotação de cordões arenosos por conta da alteração na direção de incidência de ondas. O projeto conclui relatando que o estreitamento do litoral que vem sendo identificado na orla da Praia do Açú, ao sul dos molhes do Terminal 2, não decorre da construção das referidas estruturas, uma vez que foi verificada a tendência de equilíbrio sedimentar na região adjacente aos molhes, baseado na acumulação de sedimentos quase simétrica ao norte do molhe norte e ao sul do molhe sul. Contudo, apesar de haver um relativo equilíbrio sedimentar, as estruturas (principalmente o Molhe sul e Molhe norte) acabam se tornando um obstáculo e de fato atrapalha a dinâmica litorânea.

Para mensurar a alteração em área ao longo da área de estudo, os resultados extraídos a partir das rotinas de geoprocessamento mostraram que no período de 2003 a 2010, durante os 7 anos houve um aumento acumulado de 4,783 hectares, e as faixas de retrogradação, somadas resultam em 1,035 hectares. Já no período entre 2010 e 2015, momento em que se iniciaram as obras portuárias, foi possível visualizar uma progradação de 7,792 hectares e retrogradação de 1,325, ainda que o intervalo de tempo seja menor em relação ao período anterior. A tabela 1 a seguir mostra os respectivos períodos e valores em área.

PERIODO / EFEITO NA LINHA DE COSTA	Progradação (ha)	Retrogradação (ha)
2003 a 2010	4,783	1,035
2010 a 2015	7,792	1,325

Tabela 1 – Quantificação em área das alterações na linha de costa entre 2003 e 2015.

Para melhor visualização dos resultados, é possível fazer uma média anual da referida variação, indicando taxas médias para o efeito progradante quanto retrogradante. No primeiro espaço de tempo, houve uma média de progradação anual de 0,683 hectares, enquanto no período de 2010 a 2015 houve um aumento na média anual para 1,558 hectares. Já em relação a retrogradação, uma média anual, tem como resultado um recuo de 0,207 hectares ao ano entre 2003 e 2010, e no segundo período um recuo anual de 0,265 hectares. Partindo destes resultados, é possível perceber que no segundo intervalo de tempo, que possui 5 anos, aconteceram mudanças mais significativas do que no primeiro intervalo de tempo analisado, que possui 7 anos. Isso se deve ao fato da construção do porto ter sido iniciada no final da década de 2000, com as obras de abrigo portuário no litoral sendo consolidadas no período de 2009 e 2010, ou seja, a partir da interferência dessas estruturas físicas, as mudanças na costa se acentuaram significativamente.



Figura 09 – Comparação entre a linha de costa da área de estudo em 2010 (esquerda) e em 2015. A seta azul indica o local de abertura do canal de navegação, área onde as alterações foram mais acentuadas.

Na análise do RIMA, produzido para fins de licenciamento ambiental, foi verificado que está previsto que um processo erosivo decorreria das intervenções físicas que seriam realizadas no ambiente costeiro local para viabilizar o empreendimento. Por exemplo, na página 68 do RIMA da UCN/OSX está indicado que um dos impactos ambientais previstos seriam a “alteração da hidrodinâmica marinha e dos processos de erosão e sedimentação praias”. Ainda no RIMA da UCN/OSX, página 71, é apontado que essas mudanças teriam caráter irreversível. Já na página 80 está salientado que as modelagens apontaram no sentido de que haveria um processo discrepante de “engordamento” próximo ao quebra-mar (molhe) sul e de tendência à erosão no trecho subsequente ao engordado. Em função disso, o RIMA da UCN/OSX considera que o grau de relevância do impacto seria muito alto.

8 - CONCLUSÕES

Finalmente, é possível concluir que os métodos utilizados neste trabalho foram suficientes para se chegar aos resultados que já eram esperados. A relação entre economia e meio ambiente deve ser mais relevante com transparência, principalmente quando se trata do ambiente costeiro, onde já ocorre uma dinâmica natural relativamente acentuada e exige um comprometimento ainda maior com o planejamento. No caso da área de estudo foi possível visualizar e quantificar o quanto as estruturas físicas portuárias que se adentram ao oceano alteraram a linha de costa, cujo processo de construção se iniciou a menos de 10 anos e as mudanças já são nítidas.

É necessário a realização de estudos sobre a área da praia do Açú e identificar as flutuações em área da referida praia, entretanto, a questão que aparece como altamente significativa é que não apenas o monitoramento deva ser feito e que seus resultados sejam devidamente publicados, mas que estes estudos sejam iniciados imediatamente para que ações possam ser tomadas de modo a evitar a persistência do processo a sua intensificação. É importante também que sejam feitos levantamentos sobre as perdas já ocorridas na infraestrutura urbana e também sobre unidades residenciais que estejam mais próximas da linha da costa.

O meio ambiente jamais deve ficar em detrimento das atividades econômicas, ele deve ser pensado em primeiro plano e as atividades devem se adaptar aos diferentes meios de forma que não agrida, pois na maioria das vezes as mudanças na natureza são de caráter cada vez mais

irreversíveis, contribuindo para o desequilíbrio ambiental em prol do desenvolvimento econômico.

9-REFERÊNCIAS

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emilia. Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2009. 776 p.

ANDERS, F. J., and BYRNES, M.R., 1991. Accuracy of Shoreline Change Rates as Determined From Maps and Aerial Photographs. *Shore and Beach*, 59(1): 17-26.

BASTOS, A. C; SILVA, C.G. Caracterização Morfodinâmica do Litoral Norte Fluminense, Revista Brasileira de Oceanografia. Niterói, 48(1): 41-60, 2000.

BERNARDES, L. M. C. 1957. Planície litorânea e zona canavieira do Estado do Rio de Janeiro. Conselho Nacional de Geografia, Rio de Janeiro.

BRAY, R.N., A. D. BATES. & J. M. LAND. 1997. Dredging, a Handbook for Engineers. John Wiley & Son, Inc. Second edition. New York, 434 p.

CAL, Consultoria Ambiental Ltda. Porto do Açu – RJ: RIMA - Relatório de Impacto ao Meio Ambiente. Volume Único. Agosto/2006.

CANCIAN, T. B. Evolução Recente e Predição Da Linha De Costa Da Praia De Camburi, Vitória-E.S. Vitória, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1979.

COUTINHO, R. C. Avaliação das transformações socioambientais oriundas da implantação do Complexo Portuário Industrial do Açu. 2009. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2001.

DHI – DANISH HYDRAULIC INSTITUTE (1995) Mike 21 Nearshore Spectral Wind-Wave Module, Release 2.7, User Guide and Reference Manual. DHI Software, Denmark.

HOEK, W. Z., BOHNCKE, S. J. P., (2001) Oxygen-isotope Wiggle Matching as Tool for Correlation of ice-core and Terrestrial Records Over Termination I. *Quaternary Sci Rev.* 27:1-5.

KRAUS, N. C. and J.D. ROSATI (1997) "Interpretation of shoreline – Position Data For Coastal Engineering Analysis." Coastal Engineering Technical Note, CETN II-39, U.S. Army, Engineer Research and Development Centre, Vicksburg, M.S.

LIMA, O. P. Localização geodésica da linha da preamar média de 1831 – LPM/1831, com vistas à demarcação dos terrenos de marinha e seus acrescidos. Florianópolis, 2002. 248f. Universidade Federal de Santa Catarina (doutorado em Engenharia civil), 2002.

MAGINE, Christiano. A Influência Da Estrutura Portuária Na Dinâmica Costeira na Vila do Pecém, Ceará, Brasil. Revista de Geologia, Vol. 24, nº 2, 136 - 149, 2011

MARQUEZ, Andre L. Estudo de agitação, correntes induzidas por ondas e balanço sedimentar da região do porto do tubarão e praia de Camburi, Vitória / ES. USP, instituto oceanográfico. São Paulo, 2009.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (eds), Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1994.

MUEHE, D. O Litoral Brasileiro e sua Compartimentação. In: CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T.(org). Geomorfologia do Brasil. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 1998.

MUEHE, D.; CORRÊA, C. H. T. (1989) - The coastline between Rio de Janeiro and Cabo Frio. In: Claudio Neves (ed.), Coastlines of Brazil, pp.110-123, American Society of Civil Engineers (ASCE), New York, NY, U.S.A. ISBN: 978-0872627079.

NEVES, M. M. Classificação e Caracterização dos Tipos de Orla do Município de Cabedelo-PB. In: Anais do II SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA DO NORDESTE: sustentabilidade e meio ambiente no nordeste brasileiro. João Pessoa-PB, 2008.

NORDSTROM, Karl F. Recuperação de praias e dunas. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 263 p.

PETROBRAS. Bacia de campos. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-campos.htm>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

ROCHA, C. P.; ARAÚJO, Tereza C. M.; MENDONÇA, F. J. B. Aplicação de técnicas de posicionamento GPS tridimensional para localizar linhas de costa: estudo de caso na praia de Boa Viagem, Recife/PE, Brasil. Revista da Gestão Costeira Integrada 8(2): 127-137, 2008.

ROCHA, T. Morfodinâmica Costeira e Gestão de Orla Marítima em Costa Sob Influência Fluvial: Borda meridional do atual delta do Rio Paraíba do Sul (RJ). 2009. 141 f. Dissertação - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2009.

ROSMAN, P. C. C. PENO-14653 Assessoria e Suporte Técnico p/ LLX. 2011.

SMITH, G. L., and ZARILLO, G. A., 1990, Calculating Long-term Shoreline Recession Rates Using Aerial Photographic and Beach Profiling Techniques: *Journal of Coastal Research*, v. 6, no. 1, p. 111-120.

SOUSA, N. M. B. Obras Marítimas de Acostagem: O Caso Do Porto De Abrigo Da Ilha Do Porto Santo. 2011. 120 f. Dissertação – Universidade Da Madeira, Funchal. 2011.

SOUZA, M. H. S. 1988. Clima de ondas do norte do estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro/ COPPE, 181p.

VILLWOCK, J. A. & TOMAZELLI, L. J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas do CECO-IG-UFRGS*, Porto Alegre, 8: 1-45.