



**Balço Sedimentar da Baía de Suape (PE) entre os
Anos de 1994 e 2007: Consequências Ambientais**
Sedimentary Balance in Suape Bay (PE) between
1994 and 2007: Environmental Consequences

Carlos Eduardo G. S. de O. Fabin¹; Sharliane Dornelle d' Almeida Arruda¹;
Valdir do Amaral Vaz Manso² & Rochana Campos de Andrade Lima³

¹Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação Geociências, PPGEOC/UFPE,
Rua Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, 50740-530, Recife, PE, Brasil

²Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, CTG, Departamento de Geologia,
DGEO/UFPE, Rua Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, 50740-530, Recife, PE, Brasil

³Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, CTEC/UFAL, Programa de Pós-graduação
em Geografia, PPGG/UFAL, Laboratórios Integrados de Ciências do Mar e Naturais,
LABMAR/UFAL, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, 57072-970, Alagoas, AL, Brasil
E-mails: c.e.fabin@hotmail.com; sharliane8@gmail.com; valdirvazmanso@gmail.com; rca.lima@hotmail.com

Recebido em: 06/11/2019 Aprovado em: 09/06/2020

DOI: http://doi.org/10.11137/2020_3_98_109

Resumo

Este estudo tem como objetivo uma análise do balanço sedimentar na Baía de Suape, localizada no litoral sul de Pernambuco, próxima ao Complexo Industrial e Portuário de Suape, com intuito de definir a magnitude e a direção do transporte de sedimentos, localizar trechos onde ocorre erosão e deposição, e quantificá-los. Essa análise foi feita a partir de dois levantamentos batimétricos obtidos em um intervalo de treze anos, 1994 e 2007. Os dados possibilitaram a determinação das profundidades e morfologia do leito de fundo, além da confecção de mapas temáticos, perfis batimétricos e cubagem, mostrando que a taxa de erosão foi superior a taxa de sedimentação. O volume de sedimentos que saíram do sistema foi de 1.331.236,46m³, sendo apenas 192.481,27m³ de material que entrou no sistema, mostrando que a Baía de Suape apresenta um balanço sedimentar negativo. Este trabalho propôs três hipóteses que explicariam a causa do balanço sedimentar negativo, as quais têm relação direta com ações antrópicas, que modificaram as circulações das correntes internas da Baía de Suape e da deriva litorânea: diminuição do aporte sedimentar; desequilíbrio por obras de dragagens e; ocupações irregular da faixa de praia.

Palavras-chave: *Baía de Suape; Balanço sedimentar; Batimetria*

Abstract

This study aims to analyze the sediment balance in Suape Bay, located on the southern coast of Pernambuco, close to the Suape Industrial Port Complex, in order to define the magnitude and direction of sediment transport, to locate sites where erosion occurs and deposition. This analysis was made from two bathymetric surveys obtained over an interval of thirteen years, 1994 and 2007. The data made it possible to determine the depths and morphology of the bottom bed, in addition to making thematic maps, bathymetric profiles and cubing, showing that the erosion rate was higher than the sedimentation rate. The volume of sediments that left the system was 1,331,236.46m³, with only 192,481.27m³ of material entering the system, showing that Suape Bay has a negative sedimentary balance. This work proposes three hypotheses that explain the cause of the negative sedimentary balance, such as what are the direct relations with anthropic actions, which modify how the internal currents of Suape Bay circulate and derive the coast: decrease in sediment input; imbalance due to dredging works and; irregular occupation of the beach strip.

Keywords: *Suape Bay; Sedimentary balance; Bathymetry*

1 Introdução

A linha de costa é um elemento geomorfológico que apresenta alta dinâmica espacial decorrente de respostas a processos costeiros de diferentes magnitudes e frequências. Suas mudanças de posição são de natureza complexa, envolvendo diversos processos ligados à variação do nível do mar (em curto e longo prazo), balanço de sedimentos, movimentos tectônicos, reológicos e antrópicos (Camfield & Morang, 1996).

Uma forma de quantificar a erosão costeira é a relação entre a quantidade de sedimentos que entra e a quantidade de sedimentos que sai de um mesmo sistema através do balanço sedimentar. Este é utilizado para quantificar os fenômenos erosivos, as taxas de transporte no litoral e compreender os processos costeiros (Bowen & Inman, 1966; Rosati, 2005).

Os processos erosivos ocorrem quando a quantidade de sedimentos que sai do sistema é superior à quantidade que entra, gerando um balanço sedimentar negativo e a situação contrária verifica-se um balanço sedimentar positivo (Rosati, 2005).

Segundo Davis-Jr. (1997), em praias arenosas os processos de deposição e erosão são controlados por um equilíbrio dinâmico que envolve três componentes principais: quantidade e tipo de sedimentos disponíveis, energia física ao longo da costa e mudanças do nível do mar.

Em escala de curto prazo (anos e décadas), sem influência das variações relativas do nível do mar, o estoque de sedimentos contidos em uma praia pode ser definido como o volume de sedimentos dentro e aqueles que se movem através da praia, e num dado trecho corresponde ao resultado do balanço entre adição e remoção dos sedimentos (Rosati, 2005).

As faixas de praia são áreas altamente dinâmicas e vulneráveis a modificações, relacionadas a sua dinâmica natural e a suas diferentes formas de uso e ocupação. De acordo com Muehe (2001), quando nestes ambientes o processo de transporte de sedimento é alterado por destruição da vegetação (que deixa o terreno exposto e vulnerável a ações erosivas) ou construção de infraestrutura urbana, provocam-se alterações no balanço sedimentar e, por conseguinte, na estabilidade da linha de costa (Leite & Andrade, 2004). Temos por exemplo de construções a urbanização da orla, implantação de estruturas rígidas ou flexíveis, conversão de terrenos naturais em áreas urbanas, que geram impermeabilização de terraços marinhos, interrupção da deriva litorânea, diminuição/perda das fontes de sedimentos para as praias, mudanças no padrão de drenagem costeira e que resultam em déficit sedimentar de praia e/ou áreas vizinhas (Souza *et al.*, 2005; Souza, 2009).

Seguindo Nascimento *et al.* (2012), a zona Costeira de Pernambuco tem suportado um grande crescimento, acompanhado pela ocupação desordenada, devido a atividades agrícolas (principalmente plantio de cana-de-açúcar para produção de álcool e açúcar), industriais (Complexo Portuário de Suape com instalação da Refinaria Abreu e Lima, Estaleiro Atlântico Sul, Gerdau, CSN, entre outras) e turismo (principalmente o segmento de sol e praia, com construções de enormes resorts e luxuosos hotéis, além de restaurantes e lojas de artesanatos).

Ao longo da costa pernambucana observam-se em alguns locais desequilíbrios em relação ao balanço sedimentar, que é evidenciado pela erosão marinha progressiva que varia de moderada a severa (Costa, 2009). De acordo com Mansos *et al.* (2006) a erosão marinha é um problema verificado em aproximadamente 1/3 das praias e o litoral sul do Estado, que engloba os municípios do Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Sirinhaém, Rio Formoso, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande apresenta níveis de erosão moderada e intensa.

A Baía de Suape vem passando grandes intervenções, consequência direta da construção e ampliação do Complexo Portuário de Suape. Em virtude disso, são de grande utilidade os estudos científicos com o objetivo de se conhecer as condições ambientais atuais e as variações da morfodinâmica praial, sedimentologia e morfologia de fundo da baía, as quais irão subsidiar futuras intervenções visando o equilíbrio ambiental da área.

Este trabalho tem por objetivo a compreensão dos processos morfodinâmicos que ocorrem na Baía de Suape, através de dados batimétricos localizar as áreas que apresentem erosão ou sedimentação, quantificar os volumes de entrada e saída de sedimentos do sistema para definir se área de estudo apresenta balanço sedimentar positivo ou negativo. Concomitante analisar os fatores ambientais e as principais modificações antrópicas que possam explicar o balanço sedimentar.

2 Localização, Materiais e Métodos

A área de estudo está localizada no litoral sul do estado de Pernambuco, entre os municípios de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho, próxima ao Complexo Industrial e Portuário de Suape. Situada a 40 km ao Sul da cidade do Recife, entre os paralelos de 8° 21'30" e 8°24'30" de latitude Sul e 34°56'00" e 34°59'00" de longitude oeste (Figura 1).

É limitada ao norte pelo Promontório do Cabo de Santo Agostinho, ao sul pela Ilha de Cocaia, a oeste pela praia de Suape e pelo rio Massangana e a leste por uma linha de *beachrocks* paralela à costa (Figura 2).

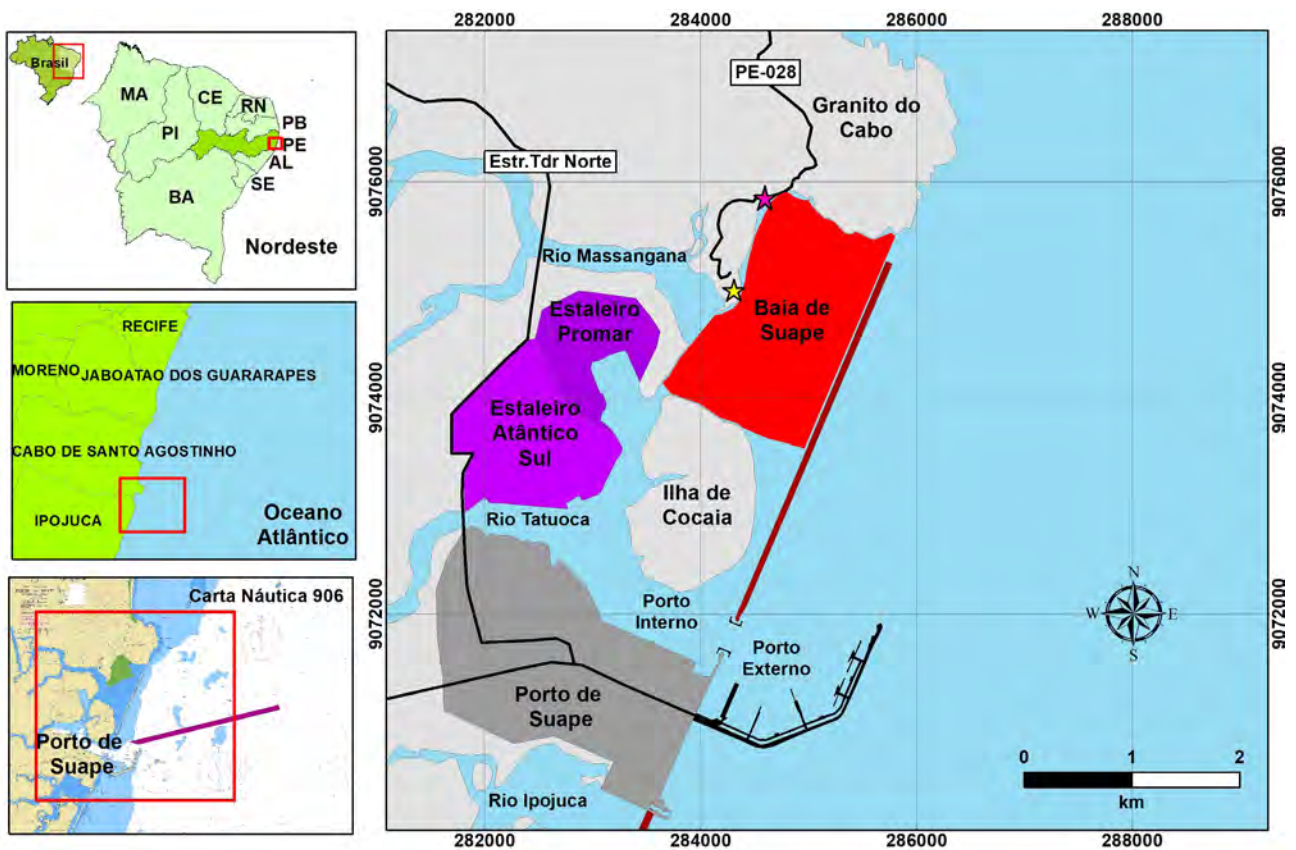


Figura 1 Localização da área de estudo delimitada pelo polígono em vermelho, entre os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, no litoral sul do estado de Pernambuco e na Carta Náutica 906 do Porto de Suape, onde foi inserido (em roxo) o canal de acesso externo. As estrelas em rosa e amarelo mostram respectivamente a localização de uma estrutura de contenção (enrocamento rochoso) na praia de Suape e uma mureta de proteção nas adjacências do Vila Galé Eco Resort.



Figura 2 Baía de Suape, vista da linha de cais e terminal de contêiner do Porto de Suape. A área de estudo está delimitada em vermelho.

Foram utilizados dados de dois levantamentos batimétricos, o primeiro referente à aquisição dos dados no ano de 1994 e o segundo do ano de 2007. O levantamento batimétrico mais antigo (Suape, 1994) encontrado por esta pesquisa da Baía de Suape foi de novembro de 1994 e corresponde ao projeto executivo “Engordamento Emergencial da Praia de Suape”. Os dados batimétricos foram extraídos a partir das curvas de nível existente na planta do projeto. A partir das coordenadas e profundidades de cada curva de nível, foi gerado o arquivo xyz e a partir deste, criadas as superfícies batimétricas por meio da interpolação dos dados.

Os dados do levantamento batimétrico de 2007, foram fornecidos por Luciano Cintrão Barros (arquivo xyz), que realizou estudo na Baía de Suape, estuário do rio Massangana e nos riachos da Ilha da Cana e Algodois e no Canal Retificado, este trabalho foi publicado por Barros (2009).

Para o cálculo de volume (cubagem) de erosão/sedimentação utilizou-se o software Hypack, versão 2017. Esse método usual consiste em considerar o volume como proveniente de uma série de prismóides (sólidos geométricos limitados nos extremos por faces paralelas e lateralmente por superfícies planas). As linhas superior e inferior da seção transversal correspondem a diferentes superfícies do terreno (Figura 3).

O volume do prismoide da figura a seguir pode ser calculado mediante a fórmula $V_m = A_m \times L = (A_1 + A_2) \times L/2$. Onde:

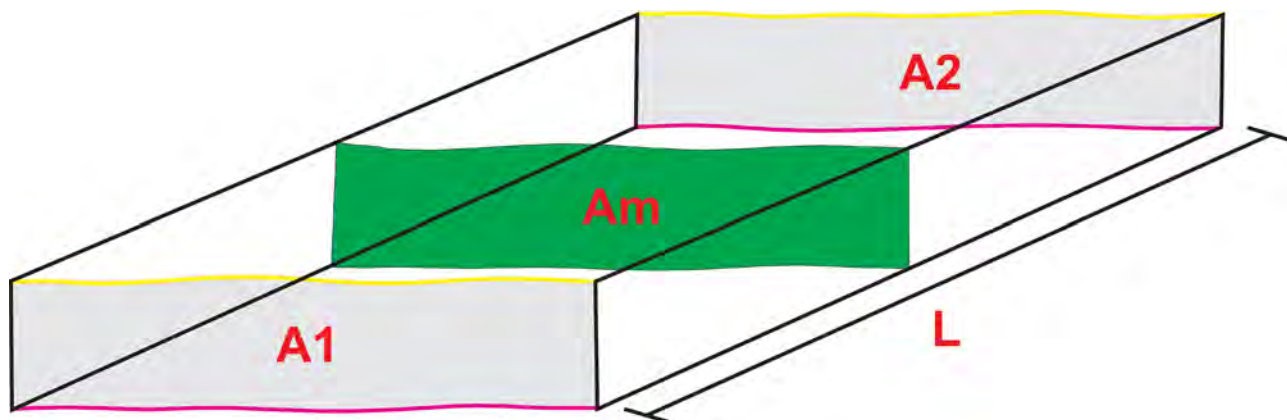


Figura 3 Prismoide para o cálculo do volume (modificado de Pontes-Filho, 1998). As áreas hachuradas em cinza (A1 e A2) representam as seções transversais, a área central em verde (Am), corresponde a seção transversal no ponto médio entre A1 e A2. Já o comprimento (L), representa a distância entre as seções transversais A1 e A2. As linhas superior (amarelo) inferior (rosa) representam as superfícies batimétricas, caso exista um rebaixamento do leito da baía, a linha superior representa a batimetria de Suape (1994) e inferior a de Barros (2009), e as seções A1 e A2 são as medições das áreas de erosão, em contrapartida, se houver deposição, a linha superior representa a batimetria de Barros (2009) e inferior a batimetria de Suape (1994), e as seções A1 e A2 são as medições das áreas de sedimentação.

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área está situada na região de maior pluviometria de todo o litoral nordestino (Mela, 1958) e o clima da região é quente e úmido pseudotropical, do tipo As', com chuvas de outono/inverno de características físicas bem definidas, segundo a classificação de Köppen (1918). O regime pluviométrico varia entre 1.850 a 2.364 mm anuais. A temperatura média anual é de 24°C, umidade relativa média anual superior a 80% e predominam os ventos de sudeste (NIMER, 1979).

Dados estatísticos da área do Porto de Suape, relativos ao período de fevereiro/84 a janeiro/90, caracteriza como ventos dominantes o de direção SE. No regime de inverno, a incidência maior de direção permanece a de SE, com velocidades médias elevando-se para a faixa de 5,0 a 6,1m/s. As marés no Porto de Suape são mesomarés (Davies, 1964) com altura média de sizígia de 2,0m e altura média de quadratura de 0,9m do tipo semidiurna, apresentando duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar, com pouca inequidade diurna e um período de cerca de 12 e 42 horas.

No que diz respeito às alturas das ondas, observa-se que no outono e primavera, há uma predominância de valores em torno de 1,0m; no verão oscilam entre 0,85m e 1,0m e no inverno alcançam os maiores valores anuais, em torno de 1,25m. Os períodos das ondas mencionadas ficam em torno de 6,5s, para as condições de outono, inverno e primavera, e 5,0s no verão (Manso *et al.*, 2006).

Na Baía de Suape, observa-se uma predominância da corrente de deriva no sentido norte, com velocidade máxima da ordem de 0,50m/s setor externo da linha de *beachrocks* e 0,8m/s no interior da bacia durante maré extremamente elevada, decrescendo para 0,1m/s nas proximidades da praia. No setor interno a linha de recife, foram medidas as maiores correntes durante os estágios de marés enchente e vazante. As correntes medidas tiveram intensidade de 0,07-0,8m/s durante o período de estiagem e entre 0,26 e 1,44m/s durante o período chuvoso. A circulação na área estuarina dos rios Massangana e Tatuoca atualmente é influenciada pelo fluxo e refluxo das marés. A abertura do *beachrock* realizada no outro extremo da Baía, para dar acesso ao Porto Interno, favoreceu a intrusão das águas marinhas dentro de toda área de estudo. Durante o período de estiagem, as correntes no baixo Massangana têm direção preferencial 65-260° Az e intensidade variável entre 0,14 e 0,54m/s. No baixo Tatuoca, as correntes estão preferencialmente direcionadas para a barra próxima ao Cabo de Santo Agostinho durante a vazante, quando atingem velocidade de 0,8m/s (Pires Advogados & Consultores, 2000).

De acordo com Neumann (1991) a compartimentação geomorfológica da região de Suape reconhece três compartimentos distintos: domínio colinoso, rampas de colúvio e a planície costeira. De acordo com Barros *et al.* (2010) região estuarina de Suape possui uma distribuição heterogênea de sedimentos, variando da desembocadura a sua montante, onde se verifica a predominância de sedimentos arenosos na Baía de Suape, indicando uma elevada energia hidrodinâmica, e de bolsões de lama nas regiões mais distais de acordo com a energia hidrodinâmica presente nos estuários.

3 Resultados

A partir da superfície batimétrica do ano de 1994, pode-se observar que até a profundidade 1,7m, as isóbatas possuem um alinhamento paralelo à linha de costa e apresentando um baixo gradiente de declividade, tanto nas praias de Suape e Paraíso, como a Ilha de Cocaia (Figura 4A). Na região mais afastada a praia ocorre um aumento das profundidades, no sentido NE, na direção da abertura entre os *beachrocks* e o Promontório do Cabo de Santo Agostinho, formando um talude que apresenta um aumento no gradiente de declividade, passando rapidamente das cotas de 2,0m profundidade para as cotas de 7,0m, voltando a apresentar uma forma mais ou menos planta até a cota de 10,0m, onde se tem uma maior influência marinha (Figura 4A). Na saída da foz do rio Massangana existe o prolongamento da calha do rio que adentra na Baía

de Suape, com rebaixamento do leito, formando um canal natural de direção aproximadamente E-O (Figura 4A).

Na superfície batimétrica do ano de 2007 (Figura 4C), pode-se observar que a morfologia de fundo da Baía de Suape permaneceu com características similares a de 1994. Foi possível observar que as regiões mais rasas e planas continuam próximas à faixa de praia e bordejando a Ilha de Cocaia. O canal submerso localizado na foz dos rios Massangana e Tatuoca manteve seu alinhamento, apresentando rebaixamento das cotas na sua calha e as maiores profundidades permaneceram alinhadas ao *beachrock*, próximo a conexão com o mar (Figura 4C).

A partir das superfícies batimétricas, foi gerado a modelagem 3D, onde é possível observar com um maior detalhamento a morfologia de fundo da baía, conforme Figuras 4B e 4D.

A interpolação dos dados foi feita a partir do método de triangulação. Devido à distância entre os dados próximos a faixa de praia de Suape, que ocasionou um intervalo grande de vazio entre os de dados coletados a norte da Ilha de Cocaia (Figuras 4C e 4D), os dados não ficaram satisfatórios nesses locais, sendo preferido retirar essas informações na geração das superfícies batimétricas.

Para se analisar melhor os locais onde ocorreu erosão e/ou sedimentação, foi realizado uma subtração dos valores de profundidade entre as superfícies. Assim, as feições ficam bem evidenciadas na Figura 5, que corresponde ao mapa subtração que contém informações da diferença das cotas batimétricas dos anos de 1994 e 2007.

Os valores negativos representam os locais onde ocorreu erosão, quanto mais negativo o valor, maior foi o rebaixamento do leito na Baía de Suape. As cores mais frias no mapa, nas tonalidades em azul, são locais que apresentaram maior rebaixamento do leito marinho (de 2,0m até acima de 4,3m de profundidade) e conseqüentemente saída de sedimentos do sistema. As tonalidades de verde e amarelo apresentam rebaixamentos menores do leito (entre 1,0m e 2,0m) e as cores em tons de vermelho fora as quais sofreram menor rebaixamento (de 1cm até 50cm). Em contrapartida, os valores positivos representam os locais onde ocorreu sedimentação, os quais mostram uma entrada ou mobilização de sedimentos no sistema, gerando uma diminuição das profundidades, apresentado em tonalidades de rosa. É possível observar que a área de estudo apresentou erosão em quase toda a totalidade, sendo na calha na foz do rio Massangana e Tatuoca onde ocorreram os maiores rebaixamentos dentro da Baía de Suape e o os pontos onde teve sedimentação/assoreamento, foram próximo à abertura da conexão com o mar e junto à linha de recifes naturais, na parte abrigada (Figura 5).

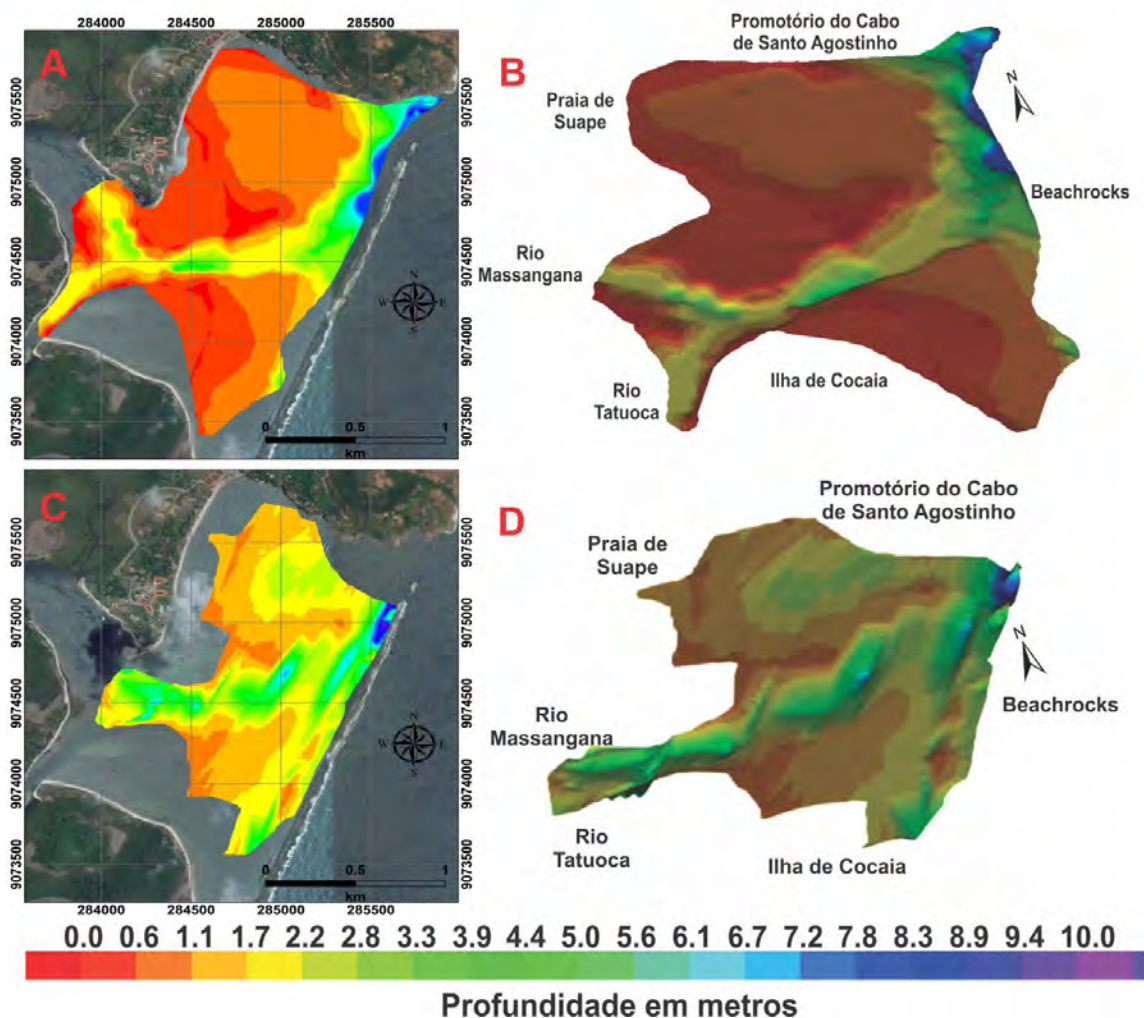


Figura 4 Superfícies batimétricas em 2D e em 3D. A escala gráfica de cores é representada a profundidade local, as cores quentes (vermelho a amarelo) correspondem às cotas mais rasas e as cores frias (verde a roxo) às cotas mais profundas; A e C. Superfície batimétrica 2D da Baía de Suape no Google Earth, referente ao levantamento batimétrico realizado, respectivamente, nos anos de 1994 e 2007; B e D. Modelagem 3D referente, respectivamente, às superfícies batimétricas de 1994 e 2007 da Baía de Suape, vista de SE para NW.

Para realizar o cálculo de volume de área de estudo foi gerado um sólido, com formato aproximado de uma caixa (Figura 6A). Este sólido apresenta de seção retangular, ou seja, seus taludes são verticalizados em facetas retas (90°) (Figura 6A). Foram feitas 24 seções transversais, do estaqueamento 00+00 até o 23+00, com espaçamento entre seções de 100 metros (Figura 6B). Foi fixada a cota do projeto em 12 metros de profundidade, que corresponde a uma profundidade maior do que as registradas pelas batimetrias de 1994 e 2007.

Todo cálculo de volume foi realizado onde existe sobreposição entre as batimetrias, nos locais onde não há sobreposição, o software não realiza o cálculo. Na cubagem, o software calcula a área onde houve rebaixamento de leito (erosão) de uma seção, soma com a área em rebaixamento da próxima seção (áreas A1 e A2),

multiplica por 100 (distância do estaqueamento - L) e divide por dois para se obter o volume de sedimentos que saíram do sistema acumulado nesta seção (Am), conforme Figura 3. A soma de todos esses volumes acumulados dará o volume total erodido. Da mesma forma, o software calcula os volumes acumulados por trecho nas áreas onde houve sedimentação.

A Figura 7 mostra a seção 19+00 do cálculo de volume. A linha superior em verde corresponde a batimetria de 1994 e a linha inferior em azul corresponde a batimetria de 2007. Onde houve erosão e sedimentação estão representadas pelas áreas de coloração vermelho e rosa respectivamente. O próprio software individualiza essas duas áreas, gerando o volume total de sedimentação e erosão.

A Baía de Suape entre os anos de 1994 e 2007 apresentou um volume de:

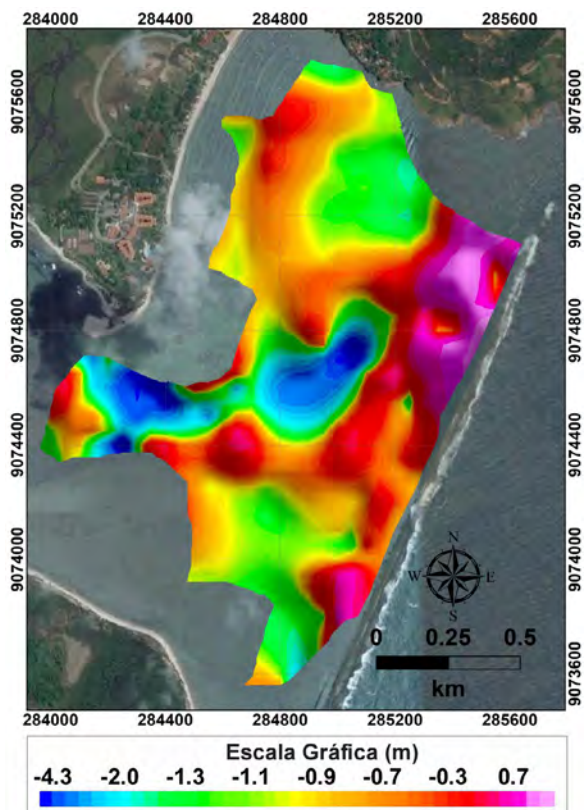


Figura 5 Mapa de subtração dos valores de profundidade dos levantamentos batimétricos dos anos de 1994 e 2007. Na escala gráfica, os valores negativos representam os locais onde ocorreu erosão e os positivos os locais onde houve sedimentação. Os tons de vermelho até azul escuro indicam erosão, onde os maiores rebaixamentos encontram-se nas cores em azul e os menores nas cores laranjas em vermelho. A coloração em rosa, mostra os locais onde houve sedimentação, na área mais próxima a linha de *beachrocks*.

- 1.331.236,46m³ de sedimentos erodidos e;
- 192.481,27m³ de sedimentos depositados.

Para o cálculo do balanço sedimentar, utilizou-se conceitos de trabalhos anteriores, como Mazzer & Dillenburg (2009) e Melo (2016), que calcularam o balanço sedimentar, realizando a subtração entre volumes. Este estudo fez a subtração do volume total de material depositado em relação ao material erodido:

Balanço sedimentar = Volume total depositado - Volume total erodido

$$\text{Balanço sedimentar} = (192.481,27\text{m}^3) - (1.331.236,46\text{m}^3) = -1.138.755,19\text{m}^3$$

A Baía de Suape apresentou entre os anos de 1994 e 2007 um balanço sedimentar negativo de -1.138.755,19m³ de material erodido. Esse processo de erosão que ocorre na área de estudo, também foi observado em trabalhos anteriores, como o de Mansos *et al.* (2006). Para o cálculo das taxas anuais de perda e de ganho de sedimentos, foi dividido o volume de sedimentos erodidos e depositados por treze (13), que corresponde ao total de anos entre as duas batimetrias. A taxa média anual de erosão foi de 102.402,80m³/ano e de deposição foi de 14.806,25 m³/ano.

Entretanto, é importante ressaltar que as taxas médias de erosão e sedimentação anual (1994-2007), assim como o volume total de sedimentos erodidos e depositados, são valores subestimados. Devido ao fato de que não foram computados os volumes próximos à praia de Suape e da Ilha de Cocaia (Figura 4C), e que provavelmente, representariam um incremento do balanço sedimentar negativo, ao se

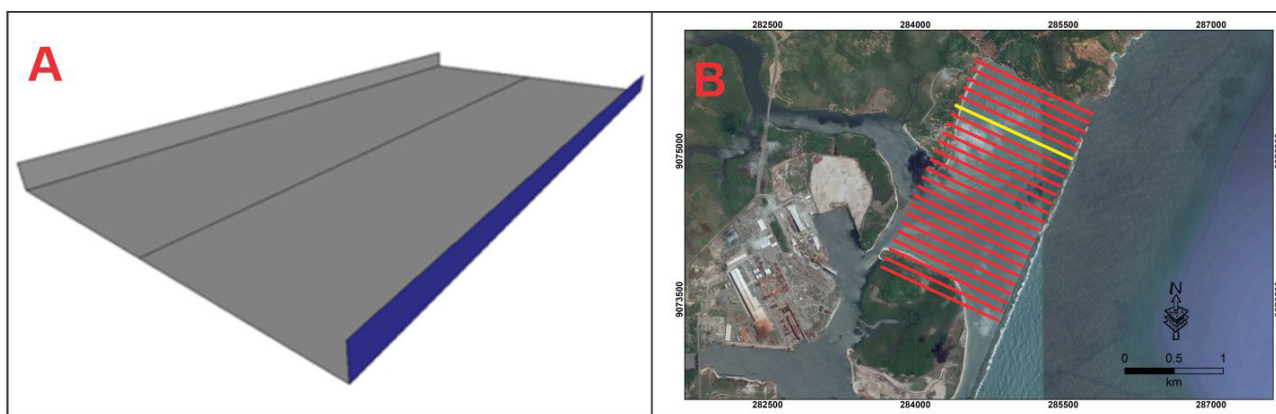


Figura 6 Sólido e seções transversais; A. Visualização do sólido do projeto em 3D, utilizado no cálculo de volume; B. Localização das seções transversais no Google Earth, a linha em amarelo corresponde a uma seção 19+00, onde seu perfil estará representado na Figura 7.

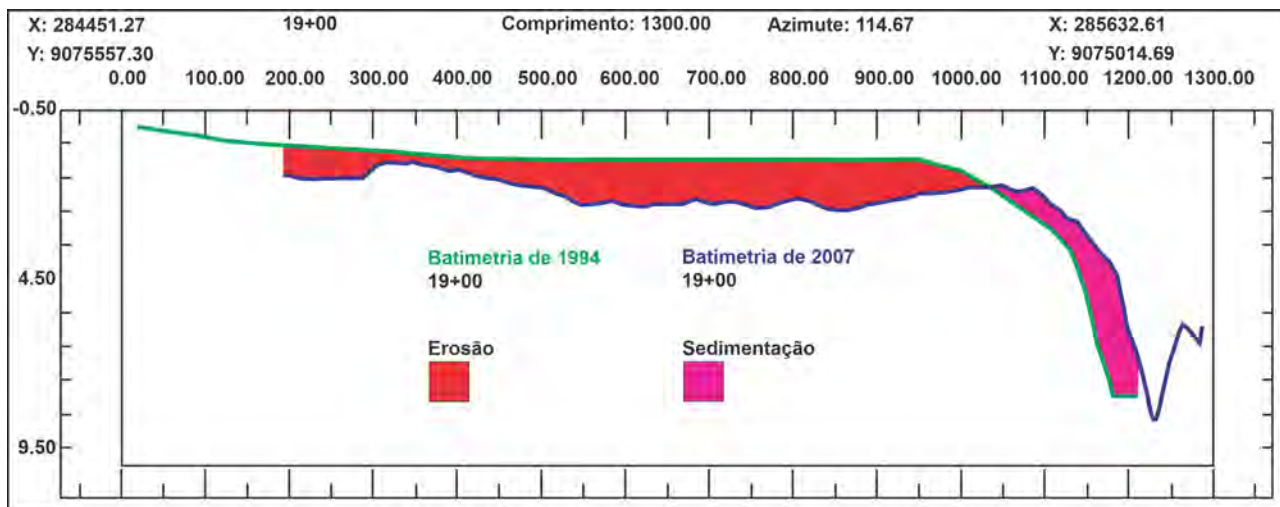


Figura 7 Seção transversal 19+00 gerada no software "Hypack" no cálculo de volume, utilizando a ferramenta "Cross Sections". As linhas verde e azul correspondem respectivamente aos levantamentos batimétricos de 1994 e 2007 e as áreas em vermelho e rosa, correspondem locais de erosão e sedimentação.

considerar a tendência do perfil batimétrico de 2007 na Figura 7, que permanece abaixo do perfil de 1994.

4 Discussão

A partir dos resultados obtidos, este estudo buscou entender as principais modificações do sistema estuarino, que causaram impactos ambientais significativos, contribuindo assim, com o desequilíbrio da área e com o balanço sedimentar negativo.

De acordo com Barcellos & Santos (2018), antes da construção do Complexo industrial Portuário de Suape,

o sistema costeiro que originalmente era contínuo e com uma conexão livre com o oceano (Figuras 8A e 8B) e com quatro rios desaguavam na região estuarina: Massangana, Tatuoca, Merepe e Ipojuca. Segundo o Plano Diretor para a implantação do Complexo Industrial e Portuário de Suape (PDZ, 2001), durante os anos de 1979 e 1982, foram feitos os primeiros investimentos com construções de obras de engenharia de grande porte como: dragagem do restinga de Cocaia; aterro entre o recife e o continente; construção do molhe externo e a instalação do píer de granéis líquidos e gasosos (PGL-1); dentre outras. Em paralelo, devido ao crescimento e expansão da área portuária, Carneiro *et al.*

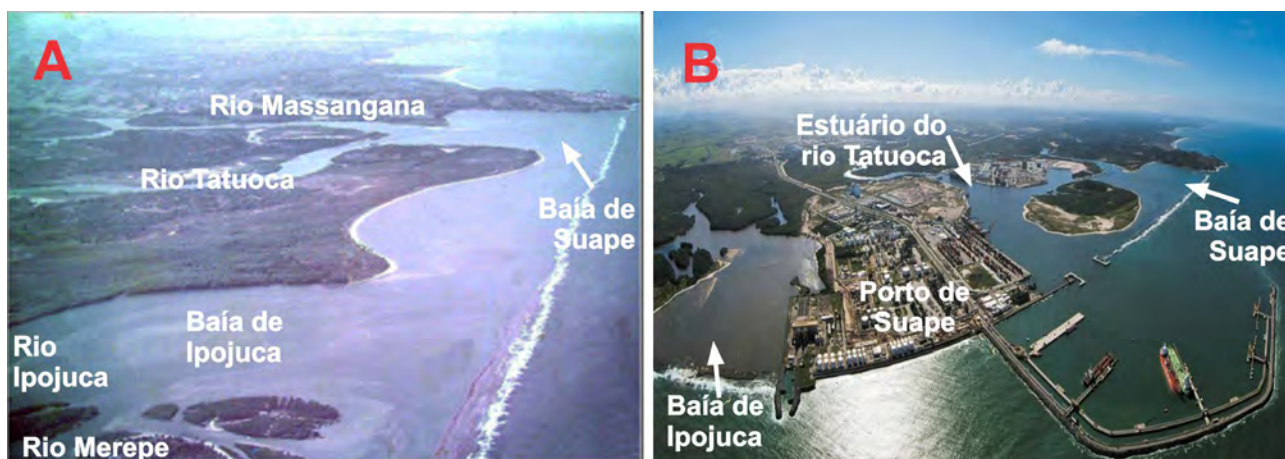


Figura 8 Vista aérea de antes e após a implementação do Complexo Portuário; A. Baía de Suape, antes da construção do Complexo Portuário de Suape (modificado de Almeida, 2003). É possível observar que o sistema estuarino era contínuo e com uma conexão livre com o oceano e quatro rios desaguavam na região estuarina: Massangana, Tatuoca, Merepe e Ipojuca; B. Baía de Suape atualmente, após da implantação do Porto de Suape. É possível observar que a comunicação dos rios Ipojuca e Merepe com a Baía de Suape foi cortada com os rios Mansangana e Tatuoca, e do mar.

(2008) observou que houve uma srie alteraões no espao físico ao longo dos anos, gerada pela grande expansõ urbana, nas praias de Suape e de Paraíso.

Com relaão aos aterros para a construo dos diversos cais portuários e terminais de tancagens, o trecho que interligava os rios Ipojuca e Merepe com a Baía de Suape foi isolando dos rios Mansangana e Tatuoca, e do mar (Figuras 8C e 8D), resultando em modificaões de características físico-químicas e biológicas no baixo estuário do rio Ipojuca (Lins, 2002). Após o isolamento a área passou a ser seccionado em 3 porões distintas: 1) Baía de Suape/ Estuário do rio Massangana; 2) Estuário do rio Tatuoca; e 3) Estuário dos rios Ipojuca/Merepe. Desta forma, a morfologia atual apresenta duas desembocaduras artificiais (Figuras 10A e 10D), frutos de aberturas na linha recifal externa realizadas por meio de dinamitação dos arenitos de praia que protegiam naturalmente o sistema estuarino original a retaguarda (Barcellos & Santos, 2018) e uma abertura natural, localizada entre a extremidade dos *beachrocks* e o Promontório do Cabo de Santo Agostinho (Figura 10C).

Antes da implementaão do Complexo Portuário, existia uma livre circulaão das correntes na zona estuarina, na foz dos rios Ipojuca, Merepe, Tatuoca e Massangana (Figura 9A). Após a implementaão do porto, observa-se

que existem duas circulaões restritas. Umas ao sul, na Bacia do Ipojuca e outra a norte na Baía de Suape (Figura 9B). Pode observar um padrõ de correntes no sentido anti-horário, com entrada de correntes marinhas nos períodos de enchentes, onde segue paralelas ao promontório do Cabo e praias e retornam para o mar na maré vazante.

Ao se comparar as Figuras 4B e 4D é possível observar que em 2007 os sedimentos arenosos foram remobilizados e depositados próximos ao alinhamento de *beachrocks*, formando uma faixa estreita (NE-SW) de maior profundidade (~1,7-3,0m), bem como uma depressão de direão (E-O) próximo ao promontório, que condizem com a direão de transporte das correntes de marés (Figura 9B). Porém, verificasse o contrário, em 1994, devido ao elevado aporte sedimentar, verificamos assim, as marcas erosivas da corrente fluvial percebidas claramente na batimetria. Por consequência, a diminuião do aporte sedimentar tornou a baía de Suape mais sensível à atividade erosiva das correntes de maré. Ao analisarmos os resultados e as principais modificaões antrópicas, principalmente, as correlacionadas com a construo do porto de Suape, este trabalho interpretou três possíveis causas que estão relacionadas à erosão do leito de fundo da área em estudo: diminuião do aporte sedimentar e

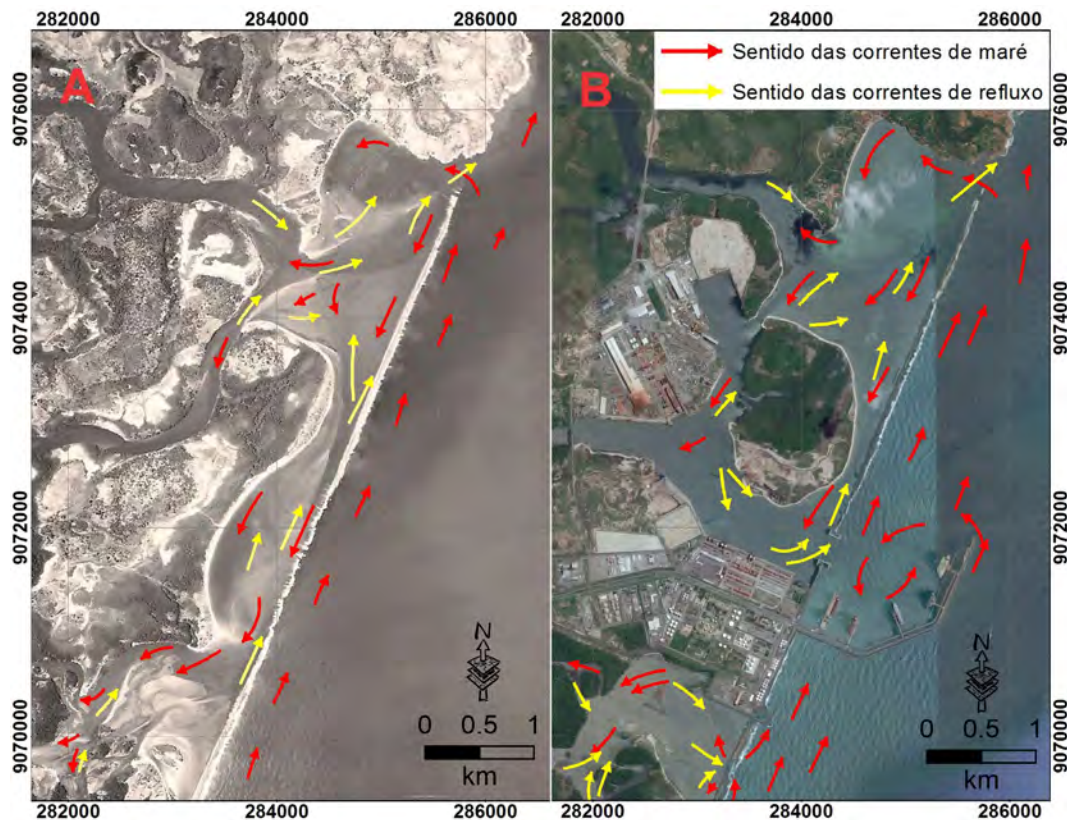


Figura 9 Modelo de circulaão das correntes da Baía de Suape, modificado de Pires Advogados & Consultores (2000); A. Antes da construo do Porto de Suape; B. Após construo do Porto de Suape.



Figura 10 Vista aérea baía de Suape e dos estuários do rio Massangana, Tatuoca e dos rios Ipojuca/Merepe. A. coloração amarronzada mostra uma grande quantidade de sedimentos transportados por tração e suspensão; B. Foz dos rios Massangana e Tatuoca. É possível observar que após a construção do canal de navegação do Porto Interno de Suape, as águas do rio Tatuoca deságuam tanto na área de estudo, como também na região portuária; C. Abertura natural entre a linha de linha de beachrocks e o Promontório de Cabo de Santo Agostinho (seta em branco), por onde dá influência marinha diretamente na área de estudo (Foto cedida por Roberto Barcellos, tirada em junho de 2011); D. Abertura devido à derrocagem dos beachrocks e posterior dragagem para dar acesso ao Porto de Interno de Suape.

modificações relacionadas com a construção do porto de Suape; desequilíbrio Baía por conta das obras de dragagem e a ocupações irregular da faixa de praia.

4.1 Diminuição do Aporte Sedimentar

Em relação à diminuição do aporte sedimentar, se deu principalmente pela construção do Porto de Suape, que gerou a obstrução dos os sedimentos transportados pelos rios Ipojuca e Merepe, que não alimentam mais a Baía de Suape.

O rio Ipojuca nasce na Serra do Pau D' Arco no município de Arcoverde. Sua bacia hidrográfica total é de 3.800 km², tendo sua área estuarina extensão aproximada de 15Km. Até atingir o Oceano Atlântico, percorre duas regiões fitogeográficas, sendo temporário na região do Agreste e perene na zona da Mata (CONDEPE, 1980). Essa obstrução provocou um forte assoreamento e grande deposição de sedimentos em suspensão foz do estuário do rio Ipojuca, aumentando a turbidez da água e transformando-a numa laguna costeira (Neumann, 1991; Neumann *et al.*, 1998), conforme Figura 10A. Esta pesquisa considera que, por sua grande extensão e por cortar grandes faixas de rochas cristalinas é possível que o rio Ipojuca seria o principal alimentador de sedimentos da Baía de Suape.

Outro fator importante que também contribui para a diminuição do aporte sedimentar na área, foi a construção do molhe (enrocamento) externo ao porto, que ocasionou uma quebra da circulação da corrente de deriva oceânica para norte (Figura 8B). Segundo o Manual de Proteção Costeira (CERC, 1984) este tipo de estrutura gera acumulação de sedimentos a barlar, enquanto que o lado a sotamar é privado sedimentos, o que provoca erosão.

4.2 Desequilíbrio Baía por Obras de Dragagens

Segundo Pereira & Moretti (2016) a dragagem do Istmo de Cocaia, formou a Ilha de Cocaia, que alterou no fluxo das águas provenientes do Rio Tatuoca (Figura 8B) e deu origem ao Porto Interno, área abrigada, possuindo 15,50 metros de profundidade e um canal de 1.430 metros de extensão e 450m de largura (PDZ, 2019).

Em 1995 ocorreu a obra de abertura do cordão de recifes de arenitos (PDZ, 2019). Essa abertura favoreceu a intrusão de águas marinhas, gerado mais modificações na circulação de correntes no Estuário do rio Tatuoca (Figura 10D).

O aprofundamento de áreas próximas à costa pode causar o aceleramento da erosão costeira resultante das modificações no regime hidrodinâmico. As zonas dragadas ficam em desequilíbrio dinâmico, tendendo a ser assoreadas

de novo a curto ou médio prazo. Em geral, quando as zonas dragadas se localizam na parte externa do estuário, acabam por ser colmatadas com areias provenientes do transporte litorâneo. Assim, estas dragagens diminuem ou inibem a transferência de areias para o litoral. Em outras palavras, frequentemente as operações de dragagem não só são responsáveis pela inibição do abastecimento sedimentar litoral, como também retiram do transporte litorâneo parte dos sedimentos que aí transitam (Simões, 2009).

Portanto o déficit de sedimentos da Baía de Suape pode ter sido potencializado com as diversas obras de dragagens do Porto de Suape, tanto na porção onshore, como na porção offshore. As dragagens no Porto Interno podem ter contribuído para o desequilíbrio hidrodinâmico dentro da Baía de Suape e as dragagens no Porto Externo e o Canal de Acesso Externo podem ter diminuído a quantidade de areias para a deriva oceânica e zona costeira, provavelmente funcionando como local de captura de sedimentos.

Uma forma de tentar amenizar os efeitos em decorrência de obras de dragagens, seria avaliar a viabilidade de utilização das areias de futuras obras de dragagens do Porto de Suape (caso apresentem características específicas) na recuperação e na alimentação artificial das faixas das praias, para tentar manter o equilíbrio da Baía de Suape (Simões-Neto *et al.*, 2017).

4.3 Ocupações Irregulares da Faixa de Praia

De acordo com Carneiro *et al.* (2008), influência e modificações antrópicas, geram alterações significativas na praia, como exemplo, a ocupação da faixa das praias de Suape e Paraíso geram a impermeabilização do solo e do pós-praia, alteração e degradação do ecossistema litorâneo, devastação dos remanescentes da Mata Atlântica, dentre outros, que podem contribuir com o balanço sedimentar negativo da Baía de Suape. Na área em estudo a faixa de praia é altamente dinâmica e antes da ocupação, tinha o setor do pós-praia era vegetado e possuía cordões litorâneos preservados. Esses impactos negativos são refletidos na faixa de praia, que devido erosão, levam a necessidade de construções de obras de contenção na praia de Suape (enrocamento rochoso), e muretas de proteção feita por troncos de coqueiros nas adjacências do Vila Galé Eco Resort (Figura 1).

5 Conclusões

Para o estudo do balanço sedimentar e da variação morfodinâmica do leito de fundo da Baía de Suape, foram utilizados dados batimétricos referentes a duas batimetrias realizadas respectivamente nos anos de 1994 e 2007.

A partir desses dados foi possível gerar superfícies batimétricas em 2D e 3D, as quais serviram de base para

a confecção de mapas, perfis e cálculos dos volumes de materiais que foram erodidos e depositados, por meio de cubagem.

A partir da análise dos dados, foi possível identificar que a área de estudo apresentou um intenso processo de erosão ao longo dos anos e com sedimentação em locais restritos, principalmente, próximos à abertura entre linha *beachrock* e o Promontório do Cabo de Santo Agostinho.

A partir da cubagem foi possível calcular tanto os volumes de materiais erodidos quanto os volumes de materiais assoreados. A baía de Suape entre os anos de 1994 e 2007 apresentaram respectivamente, 1.331.236,46m³ e 192.481,27m³ de sedimentos erodidos, apresentando assim, um balanço sedimentar negativo de -1.138.755,19m³ de material erodido.

A partir das análises dos dados, verificou-se que a área de estudo ao longo dos anos passou por diversas modificações antrópicas, que potencializaram os processos erosivos na baía com três possíveis causas influenciando no balanço sedimentar negativo:

- A diminuição do aporte sedimentar e modificações relacionadas com a construção do Porto de Suape. Que levaram a obstrução dos os sedimentos transportados pelos rios Ipojuca e Merepe, e que não alimentam mais a Baía de Suape. E a construção do molhe externo ao porto que intercepta o transporte de sedimentos pela deriva oceânica;
- O desequilíbrio na baía por conta das obras de dragagem no Porto de Suape, levando a modificações na hidrodinâmica e retenção de sedimentos que eram levados para a faixa costeira;
- A ocupação irregular da faixa de praia, que modificou significativamente a praia e pós-praia, impermeabilizando-os, levando a construção de obras de contenção e proteção para se tentar amezinhar os processos erosivos.

6 Referências

- Barcellos, R.L. & Santos, L.D. 2018. Histórico de impactos ambientais e o estado-da-arte em Oceanografia no sistema estuarino-lagunar de Suape-Ipojuca (PE). *Parcerias Estratégicas*, 23: 155-168.
- Barros, L.C. 2009. *Estudos sedimentológicos, batimétricos e geoquímicos na região interna do Porto de Suape - PE*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Tese de Doutorado, 186p.
- Barros, L.C.; Valença, L.M.M.; Souza Neto, J.A.; Madruga Filho, J.D. & Couto Junior, R. 2010. Mapeamento e quantificação das fácies texturais nos estuários da região interna de Suape - PE. *Revista de Geografia*, 2: 6-14.

- Bowen, A. & Inman, D. 1966. Budget of littoral sands in the vicinity of Point Arguello, California. *Technical Memorandum*, 19: 19-45.
- Camfield, F.E. & Morang, A. 1996. Defining and interpreting shoreline change. *Ocean and Coastal Management*, 32(3): 129-151.
- Carneiro, M.C.S.M.; Sá, L.A.C.M. & Araujo, T.C.M. 2008. Dinâmica costeira da praia de Suape - Pernambuco - Brasil. In: II SIMGEO - *Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, Recife. Anais do II SIMGEO, p. 000-000.
- CERC – Coastal Engineering Research Center. 1984. *Shore Protection Manual*. Vicksburg, US Army Corps of Engineers, 143p.
- CONDEPE/FIDEM. 2005. *Bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca*. (Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco, Recife, 64p.
- Costa, M.T.S.P. 2009. Avaliação geoambiental da zona costeira do bairro de Candeias, Pernambuco. *Mercator*, 8(17): 163-179.
- Davies, J.L. 1964. A morphogenic approach to world shoreline. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 8:127-142.
- Davis-Jr., R.A. 1997. Regional coastal morphodynamics along the United States Gulf of Mexico. *Journal of Coastal Research*, 13(3): 595-604.
- DHN. 2020. Diretoria de Hidrografia e Navegação (tábuas de marés). Disponível em: [http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas das marés](http://www.dhn.mar.mil.br/serviços/tábuas%20das%20marés). Acesso em: 15 mai. 2020.
- KÖPPEN, W. 1918. Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 64: 193-203.
- Leite, A.V.L. & Andrade, L.H.C. 2004. Riqueza de espécies e composição florística em um ambiente de dunas após 50 anos de pressão antrópica: um estudo na Praia de Boa Viagem, Recife, PE–Brasil. *Biotemas*, Disponível em: <http://www.biotemas.ufsc.br/pdf/volume171/a2.pdf>>, 17(1): 29-46
- Lins, P.A.M. 2002. Hidrologia e Hidrodinâmica do Baixo Estuário do Rio Ipojuca, PE - Brasil. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado, 74p.
- Manso, V.A.V.; Coutinho, P.N.; Guerra, N.C. & Soares Junior, C.F.A. 2006. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro (Pernambuco). In: MUEHE, D. (org.). *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília. MMA, p. 179-196.
- Mazzer, A.M. & Dillenburg, S.R. 2009. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis-SC, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, 36: 117-135.
- Melo, M.C.S.S.; Barcellos, R.L.; Manso, V.A.V.; Santos, L.D. & Soares Junior, C.F.A. 2016. Comportamento morfodinâmico e sedimentar das praias do litoral Paulista. *Estudos Geológicos*, 26: 3-21.
- Muehe, D. 2001. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(1): 35-44.
- Nascimento, M.L.; Valença, R.F.E. & Wildner, W. 2012. Litoral Sul de Pernambuco (PE), In: SCHOBENHAUS C. & SILVA C.R. *Geoparques do Brasil: Propostas*. CPRM, Rio de Janeiro, 650p.
- Neumann, V.H.M.L. 1991. Geomorfologia e sedimentologia quaternária da área de Suape, Pernambuco (Brasil). Programa de Pós-Graduação em Geociências. Departamento de Geologia. Universidade de Pernambuco (UFPE), Recife, Dissertação de Mestrado, 95p.
- Neumann, V.H.; Medeiros, C.; Parente, L.; Neumann-Leitão, S. & Koenig, M.L. 1998. Hydrodynamism, sedimentology, geomorphology and plankton changes at Suape area (Pernambuco-Brazil) after a Port Complex Implantation. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 70(2): 313-323.
- NIMER, E. 1979. Pluviometria e recursos hídricos dos estados de Pernambuco e Paraíba. *Rio de Janeiro, SUOREN*, 117p.
- PDZ. 2019. Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário de Suape Ipojuca Suape 2015-2035, TPF Engenharia LTDA, p. 21-79.
- Pereira, M.C.B. & Moretti, R.C. 2016. Impactos socioambientais ao longo da implantação e consolidação do Complexo Industrial Portuário de Suape- PE. *Gaia Scientia*, 10: 98-105.
- Pires Advogados & Consultores. 2000. Avaliação de Impacto Ambiental. Modernização e Ampliação do Porto de Suape. Recife.
- Pontes-Filho, G. 1998. Estradas de Rodagem: Projeto Geométrico. Universidade de São Paulo, São Carlos, 432p.
- Simões, M.H. 2009. Sistematização dos Aspectos Ambientais de Dragagens Portuárias Marítimas no Brasil. Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 31p.
- Simões-Neto, J.A.; Souza, M.C.; Trzaskos, B.; Angulo, R.J.; & Besser, M.L. 2017. Possibilidade de Aproveitamento dos Sedimentos de Dragagem do Porto de Paranaguá. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 8: 55-61.
- Rosati, J.D. 2005. Concepts in sediment budgets. *Journal of Coastal Research*, 21(2): 307-322.
- Souza, C.R.G.; Souza-Filho, P.W.M.; Esteves, S.L.; Vital, H.; Dillenburg, S.R.; Patchineelam, S.M. & Addad, J.E. 2005. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: SOUZA, C.R. de G; SUGUIO, K.; SANTOS, A.M. & OLIVEIRA, P.E. (eds.), “*Quaternário do Brasil*”, Holos Editora, Ribeirão Preto, SP, Brasil, ISBN-10: 8586699470, p. 130-152.
- Souza, C.R.G. 2009. A erosão nas praias do estado de São Paulo: causas, consequências, indicadores de monitoramento e risco. In: BONONI, V.L.R. & SANTOS JÚNIOR, N.A. (orgs.), “*Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Científico Acumulado*”. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN 978-85-7523-025-1), p. 1-11.
- SUAPE – Complexo Industrial Portuário. 1994. Planta do Projeto de Engordamento Emergencial da Praia de Suape. Desenho nº S-031-94-A. 1 planta: 84,1 cm × 118,9 cm. Escala 1:5.000.
- SUAPE – Complexo Industrial Portuário. 2018. Disponível em <https://www.suape.pe.gov.br/pt/noticias/1214-porto-de-suape-retoma-dragagem-do-canal-de-acesso-ao-estaleiro-ward-promar.pe> – Complexo Industrial Portuário. 1994. Planta do Projeto do Engordamento Emergencial da Praia de Suape. Acesso em: 15 mai. 2020.