

Monitoramento do Processo de Erosão Costeira na Praia das Tartarugas, Rio das Ostras - Estado do Rio de Janeiro / Brasil: Aplicação de Metodologia Quantitativa *
Monitoring Coastal Erosion in Tartarugas Beach, Rio das Ostras Town, Rio de Janeiro State / Brazil: Application of Quantitative Methodology

João Wagner Alencar Castro ^{@, 1}, Daniel Fernandes ², Fabio Ferreira Dias ³

RESUMO

Nas últimas duas décadas, a Praia das Tartarugas em Rio das Ostras, nordeste do Estado do Rio de Janeiro vem passando por intenso e acelerado processo erosivo. A maior parte da orla encontra-se em estágio avançado de urbanização. A construção da ciclovia e a ampliação da rodovia Amaral Peixoto sobre a zona de pós-praia alterou o balanço sedimentar acarretando retrogradação da linha de praia. Soma-se a essas intervenções a construção da barragem de Juturnaiba no médio curso do rio São João que reteve grande quantidade de sedimentos a montante, afetando a mecânica do transporte de sedimentos nas praias localizadas próximas à foz desse rio. O presente trabalho apresenta uma estratégia de monitoramento do processo erosivo em 2 (duas) escalas temporais de médio (décadas) e curto prazo (anual). Como procedimento metodológico utilizou-se fotografias aéreas de diferentes datas de vôo correspondente aos anos de 1975 e 2003 e execução de 24 (vinte e quatro) perfis de praia entre 2009 e 2010 através de rastreador geodésico GPS Pró-Mark 2. Resultados apontam recuo da linha de praia na ordem de 40 m em 28 anos e perdas volumétricas (erosão) na maior parte dos 8 (oito) perfis executados.

Palavras-chave: Erosão costeira, monitoramento, metodologia quantitativa, Praia das Tartarugas.

ABSTRACT

Tartarugas beach in Rio das Ostras County, located in northeastern Rio de Janeiro State, Brazilian southeast coast, presents an accelerated urbanization. Over the last two decades it has passed through an intense and accelerated erosion process. Most of the shoreline is in an advanced stage of environmental degradation. The construction of the bicycle path and of Amaral Peixoto highway extension in the backshore zone has led to the breakdown of sedimentary balance and the consequent erosion of the coastline. Furthermore, the construction of the Juturnaiba dam in the middle course of the São João River, which retained sediments upstream, altered the sedimentary balance of the beaches located near the mouth of the river. This paper is a qualitative study of the erosion process of the Tartarugas beach taking into account sedimentary, hydrodynamic and

@ - Autor correspondente / Corresponding author: jwacastro@gmail.com e castro@mn.ufrj.br

1 - Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia & Meio Ambiente - LAGECOST (Museu Nacional) Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Quinta da Boa Vista, São Cristóvão, 20940-040, Rio de Janeiro, Brasil.

2 - Instituto Estadual do Ambiente - INEA / Rio de Janeiro, Brasil.

3 - Departamento de Análise Geoambiental, Universidade Federal Fluminense - UFF

morphological aspects. The methodology consisted of comparing aerial photographs for the period from 1975 to 2003. The line of permanent vegetation in the coastal plain and man-made structures were adopted as the upper limit of the beach polygon and the waterline as the lower limit. 24 beach profiles on different dates were obtained with the aid of a geodesy GPS Tracker Pro-Mark 2. Samples of sediment were collected in sections corresponding to the beach profiles. The results obtained suggest an erosive trend with the retreat of the coastline by 40 m during the period of 28 years, which corresponds to an estimated value in 1.4 m/year. The transversal sediment transport rate induced by waves, currents and tides was estimated at 1.300 m³/year, being considered significant. In view of the ongoing process of erosion, this work offers a methodological strategy aimed at conducting interventions in the study area, directly and indirectly, through the use of geotechnology applied to studies of coastal erosion.

Keywords: Coastal erosion, monitoring, quantitative methodology, Tartarugas Beach.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, embora os problemas relacionados à erosão costeira venham chamando atenção da mídia e de autoridades ligadas ao poder público há, ao menos, 30 anos, somente nos últimos 15 anos a comunidade científica vinculada à área de geologia costeira e marinha passou a estudar o problema, suas causas e conseqüências (e.g.: Castro 2010). No litoral do Estado do Rio de Janeiro o processo de erosão costeira é decorrente da interferência entre ondulações de tempestade (*swell*) e a ocupação urbana inadequada da zona de pós-praia (*backshore*) e da face da praia (*shoreface*). Soma-se a essa constatação, a mobilização de sedimentos de praia pelos ventos para formação de dunas obliquas e a implantação de obras de engenharia, entre estas, construções de barragens e de guias correntes (*jetty*) que potencializam esse processo.

Nas últimas duas décadas, a Praia das Tartarugas, na cidade de Rio das Ostras (Figura 1) vem passando por intenso e acelerado processo erosivo. Aproximadamente 4,0 km de linha de praia, definida por Suguio (1992) como a intersecção do mar com o continente, encontra-se em erosão. A causa deve-se a urbanização da pós-praia pela Prefeitura Municipal de Rio das Ostras e a construção da barragem de Juturnaiba no rio São João que reteve o fluxo sedimentar, ocasionando déficit de areia na Praia das Tartarugas a norte da desembocadura desse curso de água (Fernandes, 2010).

Parson (1997) apresenta síntese metodológica para monitoramento de praias em déficit sedimentar, envolvendo técnicas topográficas tradicionais, tecnologias geofísicas e geoprocessamento. Emery (1961) propôs um método simples para execução de perfis de praia, baseado na utilização de duas varas graduadas, separadas de 1,5 m, cujo alinhamento e leitura da intersecção com o horizonte permitem determinar a diferença de nível ao longo do perfil. Apesar das limitações, ainda é utilizado no Brasil por alguns pesquisadores. Ruggiero *et al.* (2005) desenvolveram método de monitoramento de perfil de praia utilizando combinações geotecnológicas, envolvendo controle geodésico, perfil topográfico, análise de sedimentos, mapas topográficos tridimensionais e levantamento batimétrico na ante-praia (*foreshore*) por *jetski*. O referido método define a localização dos perfis topográficos de praia através da identificação em campo das células de deriva litorânea. Andrade & Ferreira (2006) propõem um método alternativo, baseado no princípio físico dos vasos comunicantes. Este método consiste na medição seqüencial da elevação diferencial lida em duas escalas (varas graduadas) unidas por uma mangueira cheia de

água (vaso comunicante). Baptista *et al.* (2008) apresentam um protótipo para monitoramento de praias arenosas. A tecnologia empregada envolve a utilização de um Sistema de Posicionamento Global - GPS, montado numa plataforma móvel sobre um veículo apropriado para se deslocar em ambiente de praia.

Desde 2005 a equipe do Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente (Museu Nacional) da Universidade Federal do Rio de Janeiro vem utilizando nas praias do Estado do Rio de Janeiro um método de execução de perfis de praia através de posicionamento por satélites com correção diferencial de um GPS Geodésico, tendo como referência topográfica o *datum* vertical Imbituba "nível zero" (e.g.: Castro & Coutinho, 2007; Coutinho, 2007; Pereira, 2008; Dias, 2009; Fernandes, 2010). As distribuições dos dados obtidos através dos perfis de praia são plotados em gráficos de dispersão "x" e "z", sendo "x" a distância *offshore* e "z" representa a altura elipsoidal da morfologia da praia no momento da medição. Através de programa computacional cada perfil é integrado pela equação de Simpson obtendo-se, assim, o volume erodido e depositado em cada ponto de perfil monitorado. O presente artigo tem como objetivo quantificar o processo erosivo na Praia das Tartarugas, Estado do Rio de Janeiro (Figura 1) através da análise da retrogradação de linha de praia (*shoreline*) correspondente à linha de preamar (*higt water line*) em escala decadal de médio prazo e monitoramento anual de perfis de praia utilizando GPS geodésico de alta precisão em curto prazo.

2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

2.1 Geologia costeira

De acordo com sua constituição geológica, a costa do município de Rio das Ostras é dividida em costa rochosa e sedimentar. A costa rochosa caracteriza-se por promontórios (*headland*) constituídos por ortognaisses félsicos do Paleoproterozóico. A costa sedimentar é constituída por depósitos fluviais, marinhos, eólicos e lagunares associados às variações do nível do mar ocorridas ao longo do Holoceno (Turq, 1999).

A plataforma continental interna e o rio São João são as principais fontes de sedimentos para as praias entre o cabo Búzios e a ponta das Tartarugas na cidade de Rio das Ostras (Fernandes, 2010). Estudos sobre variações relativas do nível do mar identificaram antigas posições de linha de praia referente à última transgressão holocênica no litoral nordeste do Estado do Rio de Janeiro. O máximo

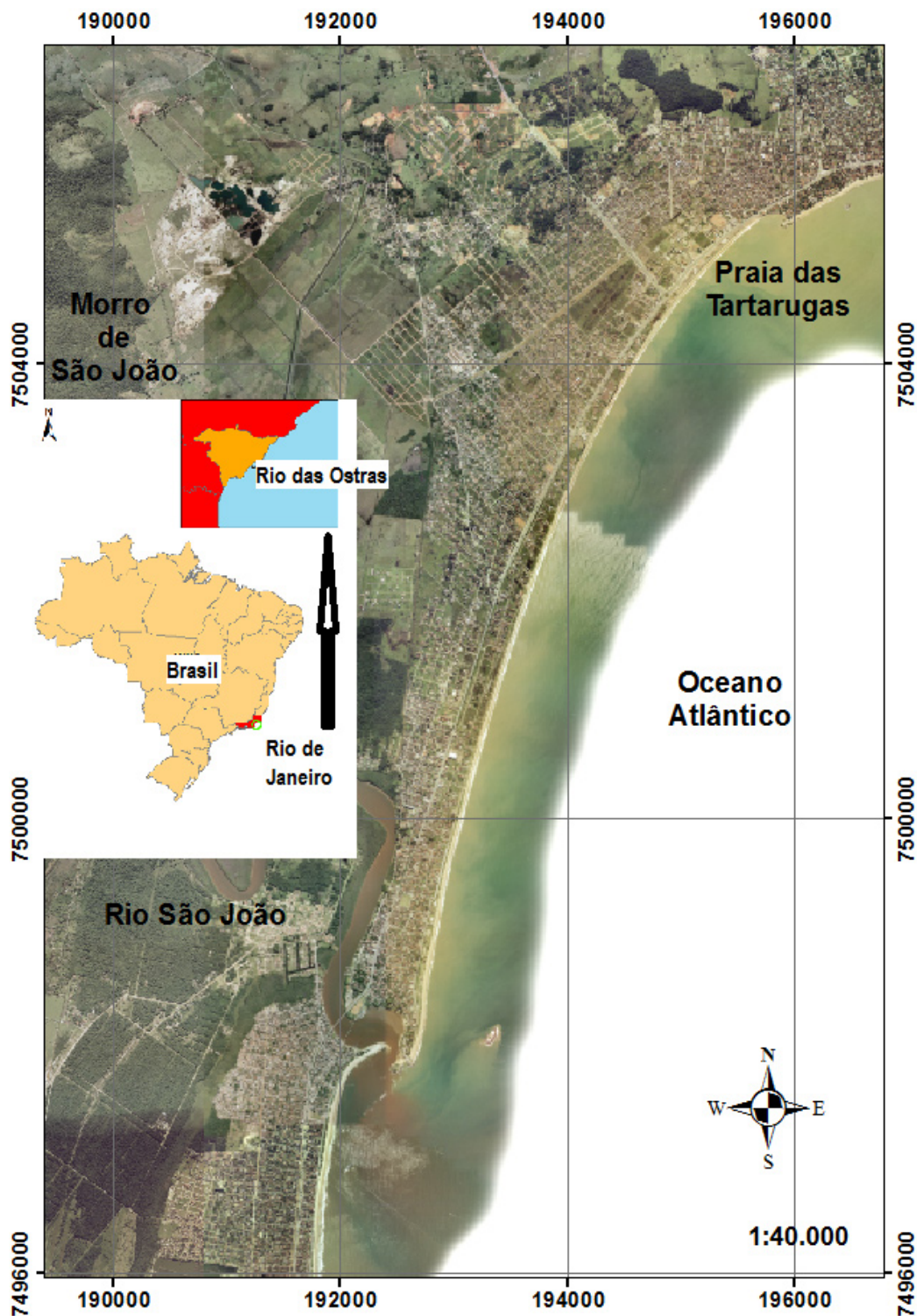


Figura 1. Localização da Praia das Tartarugas, Rio das Ostras - Rio de Janeiro, Brasil.

Figure 1. Location of the study area in Tartarugas Beach, Rio das Ostras County - Rio de Janeiro State, Brazil.

transgressivo ocorreu por volta de 4590 - 5100 anos cal A.P. (Castro & Suguio, 2010). O nível marinho encontrava-se a 3,0 m acima do atual resultando na formação de uma grande paleolaguna (Dias, 2009). Nessa região, sistemas de ilhas barreiras e cordões litorâneos se estabeleceram frontalmente a esse corpo aquoso, gerando processos de dessecamento e colmatção. À medida que o nível do mar foi baixando, o

ambiente lagunar foi se transformando em áreas de brejos e pântanos (Lamego, 1946; Martin *et al.*, 1997; Castro *et al.*, 2009).

Os sedimentos da Praia das Tartarugas são originários principalmente do retrabalhamento da planície costeira holocênica e do Rio São João, que deságua a sul da área de estudo (Fernandes, 2010). Análises de sedimentos realizadas

em laboratório apontam predomínio de areias grossas, exceto nas extremidades norte e sul da Praia das Tartarugas. No segmento norte verificou-se ocorrência de sedimento muito grosso e no segmento sul predomínio de sedimentos finos. Em todos os perfis de praia executados entre fevereiro de 2009 e janeiro de 2010, as amostras apresentam moderado grau de seleção e assimetria positiva (Fernandes, 2010). As diferenças granulométricas refletem, de certa forma, a atuação de sistemas frontais no verão, representando assim, tendência de transporte de sedimentos para nordeste, segmento correspondente ao centro da cidade de Rio das Ostras.

2.2 Clima de ondas e marés

Trabalhos desenvolvidos na bacia de Campos definem o clima de ondas da região como predominantemente de tempo bom, com variações no quadrante nordeste e ocorrências de ondulações de tempestade provenientes de Anticiclones do Atlântico Sul (AAS) associadas aos sistemas frontais e frentes frias polares com direção leste-sudeste (Silva, 2009).

A altura predominante das ondas significativas " H_s " na região de Rio das Ostras, ocorre na classe de 1,0 a 2,0 m em 40% das observações efetuadas. A segunda classe de 2,0 a 3,0 m representa 20 a 28%. A classe 0,0 a 1,0 m ocupa a terceira posição com 15 a 26%. Verificou-se que o quadrante sul é responsável pelo maior percentual de ondas de 2,0 a 3,0 m. Para ondas menores de 1,0 m, a situação se inverte, sendo a direção nordeste aquela cujo percentual de ondas é maior, seguido pelas direções leste, sudeste e sul. As ondas mais altas neste trecho da costa brasileira são do quadrante sul caracterizadas por ressacas ocasionais com altura na arrebentação inferior a 3,0 m (Silva, 2009).

Nessa região, o período médio das ondas é de 5 a 8 s. Períodos acima de 10 s representam estado de mar caracterizado por ondulações de tempestade não muito freqüente nesse trecho de litoral fluminense. Registros de períodos provenientes de ondas de nordeste são de 5 a 6 s com 30% das medições. Ondas de leste apresentam períodos de 6 a 7 s em 27% das ocorrências. Ondas de sudeste apresentam períodos mais freqüentes no intervalo de 6 a 7 s com 30%. A direção sul apresenta classes de períodos com maior percentual de ocorrência de 6 a 8 s correspondendo 27%. O regime de maré caracteriza-se como do tipo assimétrico e semi-diurno com amplitude de aproximadamente 1,0 m (Silva, 2009).

2.3 Meio antrópico

Em Rio das Ostras, assim como em todo Brasil, as pressões sócio-econômicas na zona costeira vêm desencadeando, ao longo do tempo, processos acelerados de urbanização não planejada e intensa degradação dos recursos naturais, ameaçando a sustentabilidade econômica e a qualidade ambiental e de vida das populações humanas.

A população é de 105.757 habitantes com taxa média de crescimento de 6,7% ao ano conforme censo demográfico de 2010 (IBGE, 2011). Em relação à urbanização, a população rural de Rio das Ostras registrou entre 2000 e 2010 acréscimo de 4,1% do contingente, enquanto a população urbana cresceu 38,5%, no mesmo período (Fernandes, 2010). Esse

crescimento concentra-se nas margens da Rodovia Amaral Peixoto, principal via de acesso ao município, assentada sobre a pós-praia e cordões holocênicos regressivos vulneráveis à ação antrópica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Georeferenciamento e fotointerpretação

Durante a etapa de geoprocessamento foram utilizadas fotografias aéreas de diferentes vôos: de 1975, pertencente ao acervo do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM); e mosaico ortorretificado fornecido pela AMPLA Engenharia de 2003. Para calcular a taxa de recuo da linha de praia a partir de fotografias aéreas foi utilizado o método computacional denominado ponto de terminação "*end point rate*". A aplicação desse método permitiu aferir a distância horizontal entre duas posições de linha de costa ao longo de vários pontos da praia (*transects*) entre 1975 e 2003.

O primeiro passo constou da digitalização a 300 dpi, sem compressão, para que as imagens não perdessem qualidade. As fotografias ortorretificadas datadas de 2003 se encontravam em formato digital. As resoluções espaciais e escalas das fotografias aéreas de 1975 e 2003 são, 1,7 m (1:20.000) e 3,53 m (1:10.000) respectivamente. Nessa etapa de trabalho, foi utilizado o *software ArcGis 9.2*. As ortofotos foram utilizadas no georeferenciamento das demais fotos, a partir da identificação dos pontos fixos em comum, vias urbanas e promontórios. Para tal, o mosaico georeferenciado foi aberto no *ArcMap* juntamente com outras fotos.

Com a utilização do recurso de *georeferencing* as imagens foram sobrepostas. Essa etapa teve também como objetivo corrigir as distorções encontradas. O principal fator a ser considerado na correção geométrica de imagens é a distribuição dos pontos de controle, também denominados de pontos de amarração. Segundo Dias (2009) esses pontos devem ser em número suficiente e bem distribuídos. A quantidade de pontos depende do modelo utilizado ou do grau do polinômio, que cresce conforme sua ordem, quanto maior o grau, mais pontos são necessários. Utilizou-se o sistema de coordenadas UTM, *datum* SAD 1969 zonas 24 S. Adotou-se a opção polinômio de terceira ordem. Em seguida foi demarcada a linha de vegetação da pós-praia para comparação posterior com fotos aéreas utilizadas. Para correção da linha de água (*water line*) utilizou-se a referências de nível (RN) integrante da rede geodésica brasileira implantada e mantida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Por fim, a representação espacial da série histórica foi realizada sobre as ortofotos de 2003.

3.2 Execução de perfis de praia

Para quantificar o transporte transversal de sedimentos foram executados 24 perfis de praia durante os dias 27 de fevereiro de 2009, 07 de junho de 2009 e 30 de janeiro de 2010, oito perfis por cada campanha de campo. Foram empregados receptores rastreadores GPS Geodésico - Ashtech Promark 2 pertencentes ao Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia & Meio Ambiente - Museu Nacional / UFRJ. Utilizou-se como referência topográfica o *datum* vertical Imbituba (nível zero) definido pelo Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística - IBGE. A localização dos perfis de praia priorizou a proximidade de infra-estruturas urbanas (praças, ciclovias e hotéis). Os procedimentos adotados para execução dos perfis foram:

- Reconhecimento de referências de nível (RN) integrantes da rede geodésica brasileira implantada e mantida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Execução do posicionamento diferencial estático para subsidiar a definição da ondulação geoidal (Castro & Coutinho, 2007);
- Transporte da base de referência de nível (RN) localizada no trevo de acesso a cidade de Búzios para a Praia das Tartarugas em Rio das Ostras, facilitando assim, a logística de trabalho. Nesta etapa foi adotado o posicionamento diferencial estático, com taxa de rastreamento de 1,0 segundo e tempo de rastreamento acima de 60 minutos (IBGE, 1994);
- A definição da estação GPS na Praia das Tartarugas e adjacências denominada "BASE" foi obtida a partir da base transportada para Rio das Ostras. Os perfis de praia foram denominados de "A", "B", "C", "D", "E", "F", "G" e "H" a partir da estação GPS BASE. Em campo, os perfis foram obtidos através do método de posicionamento diferencial semi-cinemático (*stop-and-go*) com taxa de rastreamento de 2,0 segundos e tempo de rastreamento de 15 segundos (IBGE, 1994);
- O pós-processamento dos dados de posicionamento foi realizado através do *software Ashtech Solutions 2.7*. As coordenadas horizontais e verticais foram definidas pela altura elipsoidal – h e altura ortométrica – H;

Dados coletados pelos receptores foram processados no Programa *Ashtech Solutions*, complementados posteriormente com informações do relatório da estação geodésica utilizada. A primeira parte consistiu na configuração dos equipamentos de acordo com o tipo do rastreamento conforme especificações técnicas. Em ambos os levantamentos, os dois receptores foram ligados, simultaneamente, para que pudesse ser processado no programa *Ashtech Solutions*. As informações da estação ocupada "3073 D" foram obtidas no site do IBGE - Seção de Geodésia. Após o reconhecimento desta estação foi executada a transferência da base do trevo de acesso à cidade de Búzios para Rio das Ostras (Praia das Tartarugas).

Foram utilizadas as seguintes especificações para coleta de dados pelos rastreadores:

- Posicionamento estático: horizontal 0,005 m + 1,0 ppm, vertical 0,010 + 2,0 ppm.
- Posicionamento cinemático: horizontal 0,012 m + 2,5 ppm, vertical 0,015 + 2,5 ppm.

3.3 Estimativas de volumes de perfis de praia (transporte transversal)

As distribuições dos dados dos perfis de praia obtidos com um rastreador GPS pro mark 2, foram plotados em gráficos de dispersão "x" e "z", onde: "x" é a distância *offshore* e "z" é a al-

tura elipsoidal, definiram a morfologia da praia no momento da medição. Através do programa MATLAB cada perfil foi integrado através da equação de Simpson. A Regra de Simpson consiste na aproximação da função contínua $f(x)$ no intervalo $[a,b]$ por uma função de segunda ordem, ou seja, na aproximação de uma curva por uma parábola (Castro & Coutinho, 2007). A equação apresenta a seguinte característica:

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{h}{3} [f(x_0) + 4f(x_1) + f(x_2)] \quad (1)$$

O transporte transversal (T) de sedimentos para o período compreendido entre os dias 27 de fevereiro de 2009 e 30 de janeiro de 2010 foi estimado a partir da expressão:

$$T_t = V_{\text{verão}(2010)} - V_{\text{verão}(2009)} \quad (2)$$

Foi considerado para o cálculo dos volumes o limite de contorno lateral de 10 m para cada perfil. Essa opção foi definida em função das características morfológicas de cada ponto de perfil de praia monitorado. Para confecção dos gráficos referentes aos perfis obtidos em campo foi utilizada a planilha Excell 2003 (Fernandes 2010).

4. RESULTADOS

4.1 Histórico de recuo da linha de praia

A análise de fotografias aéreas de diferentes datas utilizando técnicas de geoprocessamento permitiu mensurar alterações na posição da linha de praia. A retrogradação da linha de praia foi obtida a partir da fotografia aérea de 1975 e do mosaico ortorretificado de 2003, abrangendo um intervalo de 28 anos. As figuras 2 e 3 foram geradas a partir do *software ArcGis 9.2*.

Os resultados apontam recuo médio de linha de praia na ordem de 40 m no intervalo de 28 anos. A taxa de recuo foi de aproximadamente 1,4 m/ano, considerada elevada para uma área urbana assentada sobre ambiente de pós-praia de média a alta densidade populacional.

Durante o intervalo de 28 anos verificou-se que as maiores taxas de recuo da linha de praia ocorreram nos perfis "E", "F" e "G" e a menor no perfil "H" (tabela 1).

4.2 Perfis de praia

A diferença volumétrica entre os perfis de praia registrados em curto prazo permitiu definir os volumes erodidos e depositados e os locais de retrogradação e progradação da linha de praia. A figura 4 mostra a localização dos perfis de praia executados ao longo do arco praial de Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

O comprimento da face da praia (*beachface*) no perfil morfológico realizado em 27/02/2009 com o rastreador Pró-Mark 2, mostra o perfil "A" com 37,125 m, o perfil "B" com 31,091 m, o perfil "C" com 34,890 m, o perfil "D" com 22,789 m, o perfil "E" com 28,625 m, o perfil "F" com 24,452 m, o perfil "G" com 20,465 m e o perfil "H" com 9,838 m (figura 5).

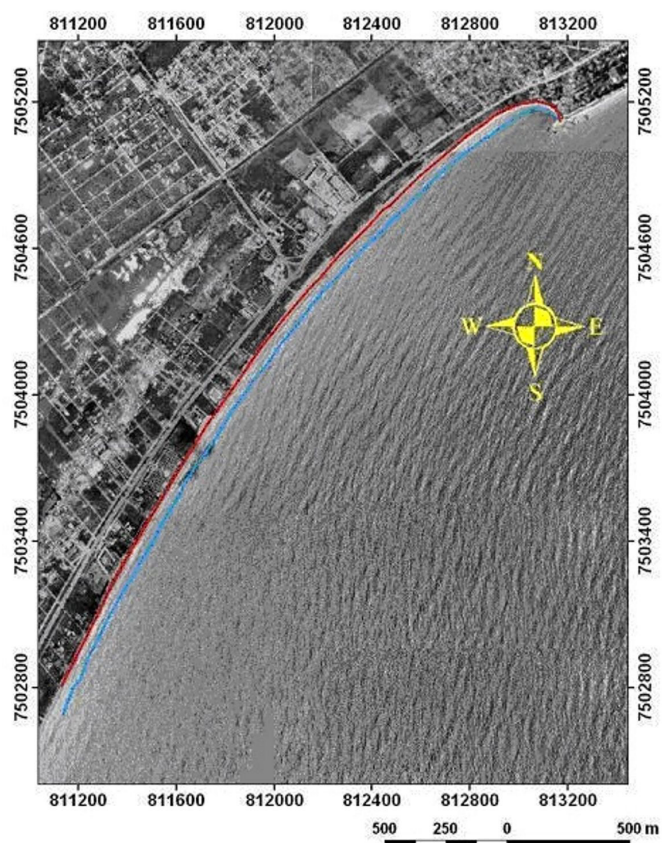


Figura 2. A linha em azul representa a posição da linha de praia no ano de 1975 e a linha em vermelho aponta aproximadamente a posição atual. Foto base 2003.

Figure 2. Position of the shoreline by aerial photographs from 1975 (blue line) and Actual position (red line). Photo base 2003.

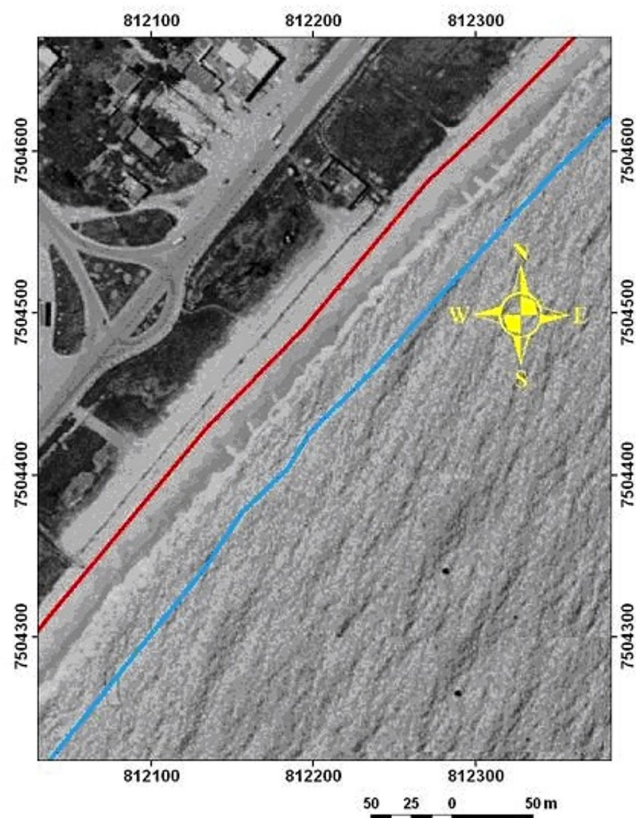


Figura 3. Detalhes do trecho de praia frontal ao trevo rodoviário de Rio das Ostras. A linha em azul representa a posição da linha de praia no ano de 1975 e a linha em vermelho aponta aproximadamente a posição atual. Foto base 2003.

Figure 3. Details of the Tartarugas beach front Amaral Peixoto highway in Rio das Ostras town. Position of the shoreline by aerial photographs from 1975 (blue line) and Actual position (red line). Photo base 2003.

Tabela 1. Variação do recuo da linha de vegetação e de linha de praia entre 1975 e 2003 dos pontos correspondentes aos perfis de “A” a “H”.
Table 1. Draw back variation of the shoreline and vegetation between 1975 and 2003, points (profiles) “A” to “H”.

Perfis	Recuo da linha de vegetação (m)	Recuo da linha de praia (m)	Recuo total em cada perfil (m)
A	13	30	43
B	10	34	44
C	13	31	44
D	15	34	49
E	22	29	51
F	24	21	45
G	21	22	43
H	7	16	23

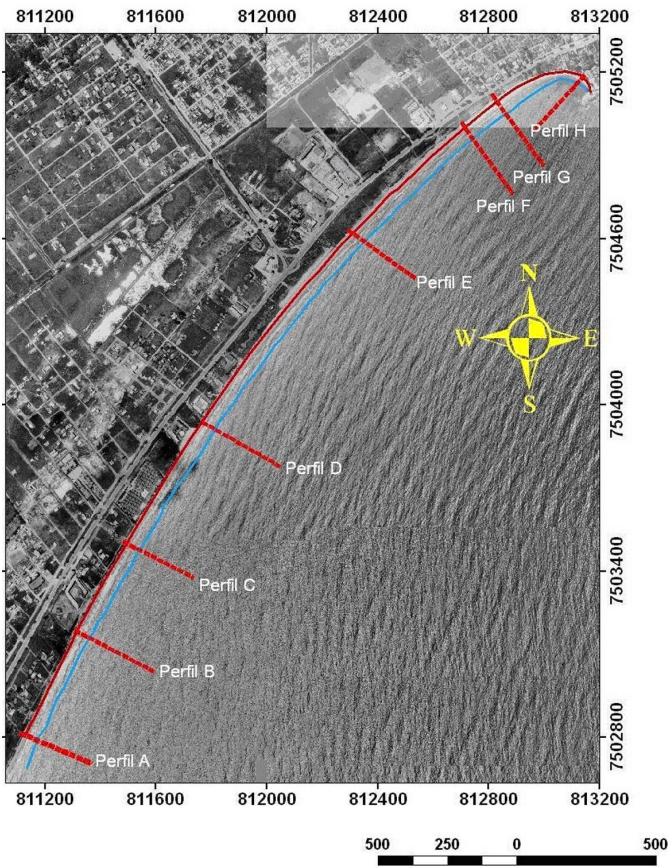


Figura 4. Imagem aérea com a localização dos perfis transversais de praia. Posição da linha de praia em 1975 (linha em azul) e posição aproximada atual (linha em vermelho)

Figure 4. Aerial photo of the beach profiles locations in Tartarugas beach. Position of the shoreline from 1975 (blue line) and Actual position (red line). Photo base 2003.

Resultados obtidos através de rastreadores apontam retrogradação da linha de praia em todos os perfis executados durante o levantamento de campo realizado 07 de junho de 2009 (2ª etapa). O recuo da linha de praia foi da ordem de 1,870 m no perfil “A”, 9,345 m no perfil “B”, 0,387 m no perfil “C”, 5,055 m no perfil “D”, 8,692 m no perfil “E”, 0,111 m no perfil “F” e 1,873 m no perfil “G” (figura 6). O perfil “H” não foi executado durante o levantamento de campo correspondente ao inverno de 2009 em decorrência desse ponto de monitoramento encontrar-se abaixo do nível de baixamar, impossibilitando assim sua medição pelo equipamento utilizado (Figura 6).

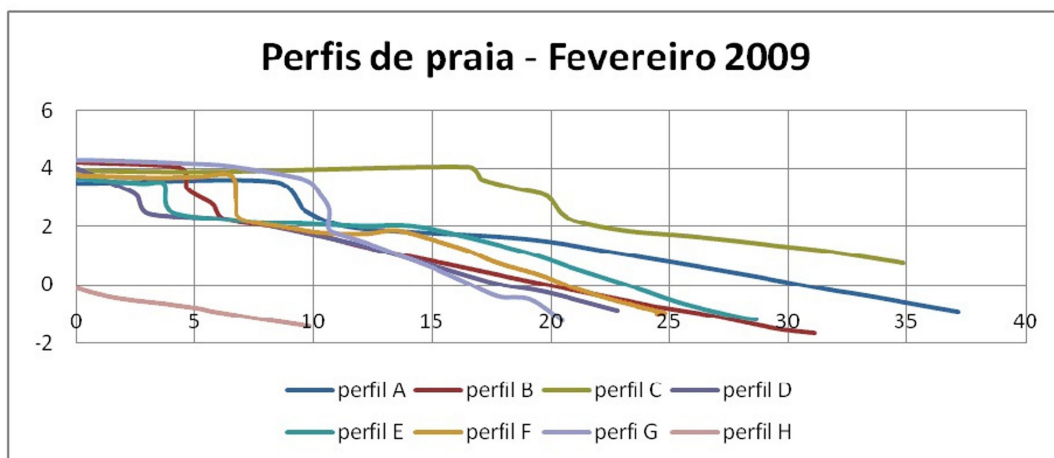
O levantamento executado em 30 de janeiro de 2010 (3ª etapa) apontou retrogradação da linha de praia em relação à campanha de 27 de fevereiro de 2009. A taxa de recuo foi de 4,708 m no perfil “A”, 10,146 m no perfil “B”, 0,816 m no perfil “C”, 4,180 m no perfil “D” e 7,586 m no perfil “E”. Os perfis “F”, “G” e “H” apresentaram aumento no comprimento (progradação) de 4,026 m, 0,647 m e 0,401 m respectivamente (Figura 7).

4.3 Estimativa do transporte transversal de sedimentos

As tabelas 2, 3 e 4 apresentam resultados volumétricos entre o verão e o inverno de 2009, o inverno de 2009 e o verão de 2010 e as diferenças volumétricas entre os levantamentos de campo executados durante verão 2009 e verão de 2010. A estimativa dos volumes erodidos foi obtida através da soma das diferenças de cada perfil. O valor obtido é da ordem de -1300 m³ / ano, considerando o limite de 10 m para cada perfil. Este valor de contorno foi determinado pela variabilidade morfológica lateral dos pontos de monitoramento.

Figura 5. Perfis morfológicos da Praia das Tartarugas, Rio das Ostras (27 de fevereiro de 2009).

Figure 5. Morphological profiles of Tartarugas Beach, Rio das Ostras town (february, 2009).



Perfis de praia - inverno 2009

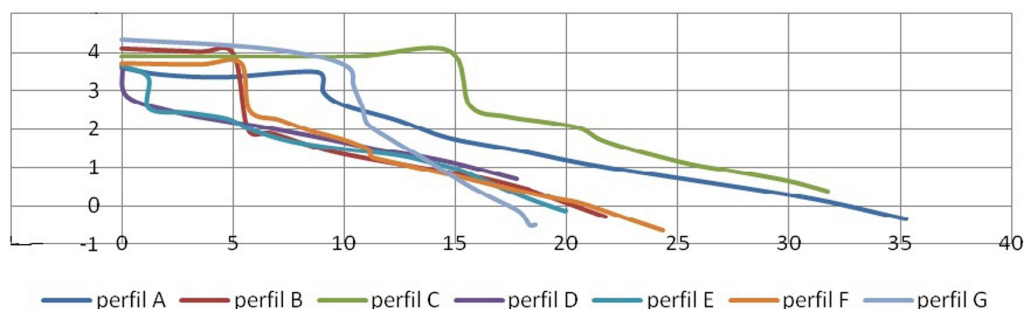


Figura 6. Perfis morfológicos da Praia das Tartarugas, Rio das Ostras (07 de junho de 2009).
Figure 6. Morphological profiles of Tartarugas Beach, Rio das Ostras town (june, 2009).

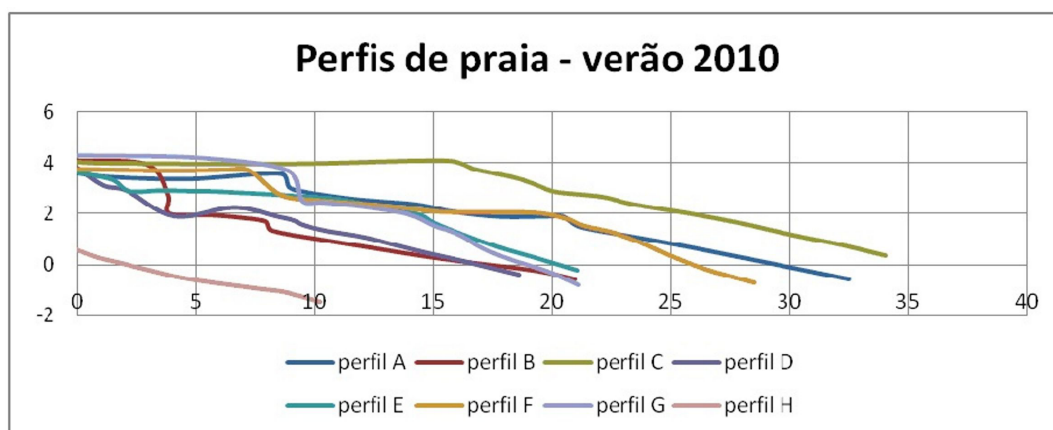


Figura 7. Perfis morfológicos da Praia das Tartarugas, Rio das Ostras (30 de janeiro de 2010).
Figure 7. Morphological profiles of Tartarugas Beach, Rio das Ostras town (january, 2009).

Tabela 2. Resultados volumétricos entre verão e o inverno de 2009 por perfil de praia.
Table 2. Volumetric results between summer and winter of 2009 for each beach profile.

	Volume verão 2009 (1)	Volume inverno 2009(2)	(2)- (1)	Variação volumétrica (%)
Perfil A	150,88	139,63	-11,25	-16,97
Perfil B	115,57	67,60	-47,96	-55,44
Perfil C	154,05	131,91	-22,14	-34,10
Perfil D	72,52	49,78	-22,73	-16,49
Perfil E	102,10	59,32	-42,77	-43,66
Perfil F	80,60	80,06	-0,54	-0,44
Perfil G	61,72	53,44	-8,27	-5,10
Perfil H	20,57	0,00	-20,57	-100

Tabela 3. Resultados volumétricos estimados entre o inverno de 2009 e verão de 2010 por perfil de praia.*Table 3.* Volumetric results between winter 2009 and summer 2010 for each beach profile.

	Volume inverno 2009(1)	Volume verão 2010(2)	(2)-(1)	Varição volumétrica (%)
Perfil A	139,63	123,12	-16,51	-23,05
Perfil B	67,60	63,90	-3,70	-2,50
Perfil C	131,91	135,11	-3,20	-4,32
Perfil D	49,78	53,51	+3,72	1,99
Perfil E	59,32	64,33	+5,00	2,96
Perfil F	80,06	101,31	+21,25	17,01
Perfil G	53,44	64,67	+11,22	21,00
Perfil H	0,00	21,84	+21,84	

Tabela 4. Resultados volumétricos estimados entre o verão de 2009 e verão de 2010 e diferenças volumétricas por perfil de praia (m³).*Table 4.* Volumetric results between summer 2009 and summer 2010 and bulk difference for each beach profile (m³)

	Volume verão 2009 (1)	Volume verão 2010(2)	(2)-(1)	Varição volumétrica (%)
Perfil A	150,88	123,12	-27,76	-41,88
Perfil B	115,57	63,90	-51,67	-44,71
Perfil C	154,05	135,11	-18,94	-29,17
Perfil D	72,52	53,51	-19,01	-26,21
Perfil E	102,10	64,33	-37,76	-36,98
Perfil F	80,60	101,31	+20,70	25,68
Perfil G	61,72	64,67	+2,94	4,76
Perfil H	20,57	21,84	+1,27	6,17

5. DISCUSSÃO

Através de levantamento do recuo da linha de praia em diferentes datas foi calculada a distância horizontal entre a linha de costa de 1975 e de 2003. Os resultados apontam recuo na ordem de 40 m no intervalo de 28 anos. A taxa anual de retrogradação (recuo) foi de 1,4 m/ano. Para uma escala temporal de médio prazo esse resultado é considerado elevado, tendo em vista o processo acelerado de ocupação urbana da zona de pós-praia por residências, hotéis e equipamentos públicos. A ausência de um plano diretor eficaz para a zona de pós-praia da cidade de Rio das Ostras é apontada como o principal problema quanto ao uso e ocupação do solo nesse trecho de litoral do Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

A execução de perfis sazonais através da metodologia proposta permitiu aferir variações morfológicas na praia em função dos agentes oceanográficos e geológicos reinantes. De acordo com Hallermeier (1981), CERC (1984), USACE

(1995), Pilkey, (2003), Krause, 2004 e Silva, 2004, o perfil de praia deve ser definido até a profundidade de fechamento do perfil ativo (d). Segundo Pereira & Castro (2007) condições hidráulicas altamente energéticas na zona de arrebentação das ondas (*surf zone*) impedem a utilização de rastreadores GPS geodésico de alta precisão. Essas condições, principalmente no inverno, dificultam a quantificação precisa dos volumes erodidos e depositados na ante-praia. Apesar dessa deficiência (desvantagem), o método utilizado é quantitativo e muito preciso quando comparado aos perfis qualitativos propostos por Emery (1961) ainda hoje utilizado por alguns pesquisadores no Brasil e em outras partes do mundo.

Verificou-se que os perfis de praia obtidos durante o verão (situação de bom tempo) apresentam características progracionais, ausência de concavidades e de escarpas no limite entre a pós-praia e face da praia. Essas características constituem respostas geomorfológicas à ação de ondas de bom tempo e ausência de sistemas frontais de alta pressão (Suguio,

1992). O mês de fevereiro de 2009 no sudeste brasileiro foi caracterizado por estabilidade pluviométrica e ausência de frentes frias. Análise da carta sinótica correspondente aos dias 25 e 26 de fevereiro de 2009, sugere que a passagem de anticiclones tropicais no Atlântico Sul manteve condição de estabilidade.

Os perfis de praia obtidos durante o inverno apresentam concavidade bem acentuada e escarpa de praia bem definida (Figura 6). São tipicamente erosivos, caracterizados por retrogradação (reco) de linha de praia e déficit de sedimentos. Nessa estação do ano, compreendendo os meses de junho, julho e agosto, é frequente a entrada de frentes frias e ocorrência de ondulações de tempestade. O período médio das ondas nessa estação, em Rio das Ostras varia de 5 a 8 s, podendo atingir até 10 s. A altura das ondas na arrebentação (*surf zone*) é de 2,0 m, podendo alcançar até 3,0 m em ocasiões excepcionais. Essas condições oceanográficas favorecem recuos de linha de praia (retrogradação) mais pronunciados, atingindo a infra-estrutura urbana localizada a retaguarda da praia.

Os perfis morfológicos realizados em janeiro de 2010 representam praticamente as mesmas características dos perfis obtidos em fevereiro de 2009 (Figura 7). Observa-se a ocorrência de uma faixa de pós-praia e face da praia com alto gradiente. Este fato pode ser relacionado ao clima de ondas de bom tempo durante a execução dos perfis. Tal situação meteorológica caracteriza ausência de sistemas frontais e frentes frias próximos à área de estudo.

Comparando as figuras 5, 6 e 7 representativas dos perfis sazonais, observa-se a resposta geomorfológica da praia frente aos agentes oceanográficos (ondas, marés e correntes) e geológicos (transporte de sedimentos) traduzidos em perfis erosivos e perfis acrescidos.

Os perfis "A", "B", "C", "D" e "E" localizados no centro e no sul da área, trecho menos urbanizado e mais exposto ao ataque de ondas de nordeste, apresentaram maiores déficits de sedimentos em comparação aos perfis "F", "G" e "H" que se encontram mais abrigados. Verificou-se ocorrência de escarpa praial que delimita o perfil ativo da praia. Essa

feição morfológica denota déficit sedimentar em função da não recomposição da pós-praia diante à ação de ondas de bom tempo (Souza *et al*, 2005).

Analisado o comportamento morfológico dos perfis de praia ao longo do arco praial estudado foram selecionados 3 (três) perfis representativos. Optou-se pelos perfis "A", "D" e "G" em função da resposta geomorfológica diferenciada ao ataque das ondas e ao comportamento do transporte transversal de sedimentos.

A Figura 8 compara as 3 (três) campanhas realizadas no perfil "A", segmento sul do arco praial. O comprimento do prisma praial emerso nesse trecho de praia foi de aproximadamente 28 m no verão de 2009. O volume de sedimentos acumulados também foi maior durante esse período. Tal fato pode ser correlacionado a condições oceanográficas mais estáveis. Nota-se que o perfil executado no verão de 2010 apresenta quebra fisiográfica bem marcada entre a pós-praia e a face da praia. Essa constatação relaciona-se a freqüentes sistemas frontais que atingiram a costa de Rio das Ostras durante os dias que antecederam a campanha de 30 de fevereiro de 2010. Observou-se em diversos trechos da área estudada a destruição da faixa frontal de vegetação de restinga. Segundo Souza *et al* (2005) a presença de feições morfológicas escarpadas é classificada como um dos indicadores de erosão costeira.

A figura 9 representa o perfil "D" localizado próximo a um antigo condomínio, construído sobre a zona de pós-praia. Verifica-se certa semelhança entre todas as campanhas realizadas. A variação volumétrica entre o verão de 2009 e o verão de 2010 foi de - 26,21 m³, considerada muito baixa. Tal resultado pode ser explicado em função da linha de praia local se encontrar abrigada do ataque das ondulações de tempestade impedindo assim, a remoção de maiores volumes de sedimentos por ondas e correntes de retorno (*rip currents*).

A figura 10 mostra o processo de ocupação urbana da área correspondente ao perfil "D". Observa-se processo de retrogradação (reco) de linha de praia mesmo após a construção de um muro de proteção (*seawall*) com o intuito

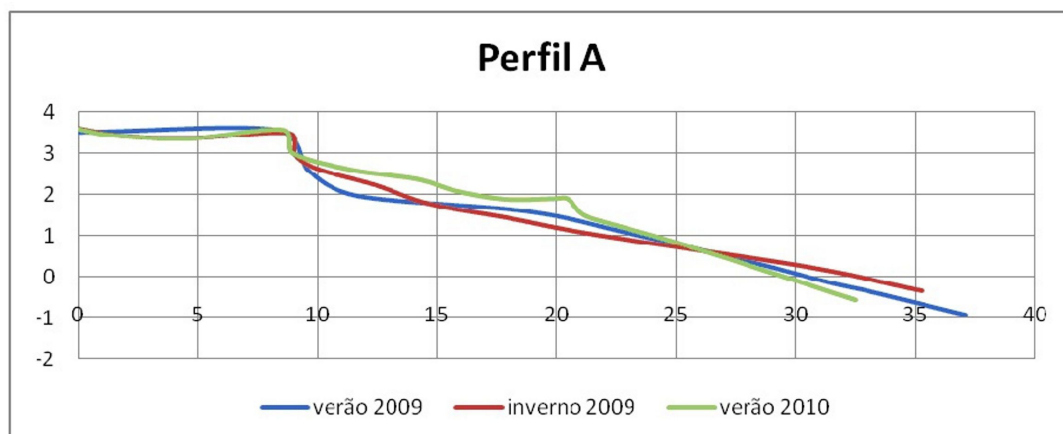


Figura 8. Comparação do Perfil "A" para as três campanhas executadas entre fevereiro de 2009 a janeiro de 2010.

Figure 8. Comparison of Profile "A" for the three campaigns between february, 2009 and january 2010.

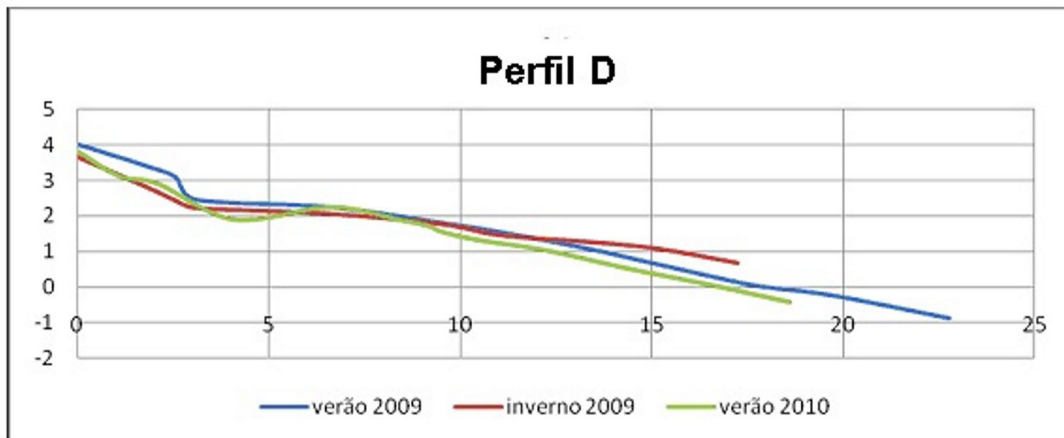


Figura 9. Comparação do perfil “D” para as três campanhas executadas entre fevereiro de 2009 e janeiro de 2010.

Figure 9. Comparison of Profile “D” for the three campaigns between february, 2009 and january, 2010.

de proteger residências (Fernandes, 2010). A construção de estruturas de enrocamento ou muros de arrimos na linha de praia, altera a dinâmica do transporte transversal de sedimento induzido por ondas e correntes de retorno, acarretando erosão acelerada nas extremidades e solapamentos das referidas obras.



Figura 10. Construção de muro de arrimo (proteção costeira). Observe processo de erosão costeira na extremidade do empreendimento.

Figure 10. Severe erosion and equivocated coastal defense works in Rio das Ostras town, Rio de Janeiro State - Brazil.

O perfil “G” mostra a presença de processo erosivo na pós-praia aterrada por obras de infra-estruturas realizadas pela Prefeitura Municipal de Rio das Ostras. Verificou-se que o perfil de praia praticamente não sofreu alterações durante a etapa de monitoramento (Figura 11). Tal fato deve-se a esse trecho de linha de praia se encontrar abrigado das ondulações de tempestade provenientes do quadrante sul.

Durante o verão de janeiro de 2010 caracterizado por condições de bom tempo, não registrou-se reposição sedimentar no perfil “G”. A permanência da escarpa praial durante o período de monitoramento deve-se a implantação de uma estrutura de enrocamento do tipo gabião, paralela à linha de praia (*seawall*) que potencializou o processo erosivo nas extremidades da referida obra. Essa interferência mal sucedida acarretou significativas perdas patrimoniais em grande parte da orla costeira da cidade de Rio das Ostras (Figuras 12 e 13).

A aplicação do método de monitoramento de perfil de praia permitiu definir satisfatoriamente os volumes erodidos e depositados em cada ponto monitorado. Durante o período de 27 de fevereiro de 2009 e 07 de junho de 2009 registrou-se perdas volumétricas na ordem de 176,23 m³ de sedimentos em todos os perfis, sendo que, as maiores taxas foram de 41% e 44% nos perfis “A” e “B” respectivamente. Tal fato deve-se ao aumento da frequência de ondas do quadrante leste e sudeste que propiciou acúmulo de sedimentos mais finos e de assimetria decrescente no sentido do perfil “H”, trecho mais a norte do arco praial (Figura 4). Durante o período entre 27 de fevereiro de 2009 a 30 de janeiro de 2010 ocorreu acréscimo volumétrico nos perfis morfológicos “F”, “G” e “H”. Essa constatação corrobora tendência de transporte residual para nordeste nos setores mais abrigado da praia representados pelos 3 (três) últimos perfis.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos e a metodologia aplicada, chegou-se às seguintes conclusões sobre o processo erosivo na Praia das Tartarugas:

- Fotografias aéreas de 1975 e 2003 indicam retrogradação (recuo) médio da linha de praia na ordem de 40 m, sendo que a maior taxa foi no perfil “E” com 51m, e a menor no perfil “H” com 16m. No intervalo de monitoramento correspondente a fevereiro de 2009 a janeiro de 2010, a retrogradação foi de 5,0 m / ano. A taxa média entre 1975 a 2003 foi estimada

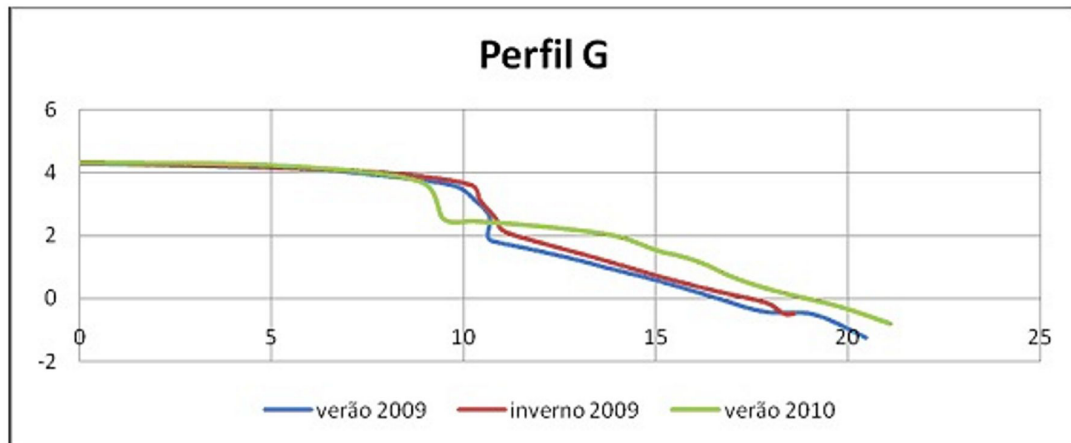


Figura 11. Comparação do perfil “G” para as três campanhas executadas entre 2009 e 2010.

Figure 11. Comparison of Profile “G” for the three campaigns between february, 2009 and january, 2010.



Figura 12. Área adjacente ao perfil “G”. Detalhe do trecho em processo erosivo acelerado, Rio das Ostras.

Figure 12. Severe erosion near to “G” profile in Rio das Ostras town.



Figura 13. Processo de erosão costeira na Praia das Tartarugas. Observe a construção de uma estrutura de enrocamento em processo de solapamento após uma tempestade ocorrida em agosto de 2008 (Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro).

Figure 13. Tartarugas beaches under severe erosion and equivocated coastal defense “seawall” after a storm in august / 2008 (Rio das Ostras, Rio de Janeiro)

em 1,4 m/ano, considerada preocupante, tendo em vista, equipamentos públicos e privados (praças, residências e hotéis) de alto valor imobiliário, situados à retaguarda da linha de praia em erosão;

- Registrou-se erosão costeira nos perfis de praia “A”, “B”, “C”, “D” e “E” e deposição de sedimentos nos perfis “F”, “G” e “H”. As diferenças volumétricas em m³ entre os trabalhos de campo realizados entre o verão de 2009 e o verão de 2010 apontam erosão de -27,76 no perfil “A”, - 51,67 em “B”, -18,94 em “C”, -19,01 em “D”, - 37,76 em “E”. Nos perfis “F”, “G” e “H” registrou-se leve acúmulo de material em m³ na ordem + 20,70, + 2,94, + 1,26 respectivamente.
- Intervenções antrópica no ambiente de pós-praia através da urbanização e de obras de infra-estrutura executadas pela Prefeitura Municipal de Rio das Ostras são entendidas como vetores de desequilíbrio

sedimentar, traduzidos em erosão costeira. A construção da barragem de Juturnaiba modificou a dinâmica sedimentar do rio São João, acarretando alterações também no balanço sedimentar das praias a jusante, incluindo a Praia das Tartarugas localizada a norte da desembocadura desse rio;

- A análise de cartas sinóticas demonstra ocorrência principalmente no inverno de sistemas frontais próximo ao litoral de Rio das Ostras, causando instabilidade meteorológica e condições hidrodinâmicas muito energéticas. A relação entre ondulações de tempestade e a ocupação inadequada da faixa de pós-praia e face da praia pela urbanização desse trecho de litoral

fluminense, potencializou o processo erosivo aqui estudado;

- Durante todos os trabalhos de campo o diâmetro mediano do grão (D_{50}) na face da praia apresentou padrão de distribuição decrescente do perfil "A" para ao perfil "H". Resultados obtidos para os sedimentos coletados na face de praia durante as campanhas verão de 2009 e inverno 2009 demonstram tendência de diminuição do grau de assimetria do perfil "A" para o perfil "H", traduzido em acúmulo de sedimentos finos em direção ao perfil "H". Essa constatação explica o baixo gradiente e ausência de faixa de areia nesse perfil praticamente o ano inteiro. Nos perfis "A" e "B" correspondem aos segmentos mais expostos as ondulações de tempestade no arco praiado estudado, verificou-se ocorrência de sedimentos grossos dispersos sobre uma matriz constituída por sedimentos mais finos. Esse trecho de praia de baixo gradiente caracteriza-se por processo erosivo decorrente da exposição desses perfis morfológicos ao ataque das ondas do quadrante sul (mais energéticas);
- Estimativas de volumes erodidos foram obtidas através da soma das diferenças de cada perfil. O valor obtido é da ordem de $-1300 \text{ m}^3 / \text{ano}$. A perda volumétrica decorrente do processo retrogradação da linha de praia é contínua. Estima-se que entre 10 a 15 anos toda faixa urbana paralela a Rodovia Amaral Peixoto correspondente a Praia das Tartarugas em Rio das Ostras será totalmente ou parcialmente destruída pela erosão.

Portanto, o método quantitativo de execução de perfis de praia através do posicionamento por satélites com correção diferencial de um GPS Geodésico de alta precisão e análise de fotografias áreas de diferentes datas, mostrou-se eficiente no estudo de praias arenosas em processo erosivo. A execução desse método de perfil de praia ainda pouco conhecido no Brasil é útil em projetos de engordamento (*nourishment*) artificial de praias arenosas submetidas à erosão costeira, entre estas, a Praia das Tartarugas. Realçam-se algumas deficiências no método aqui aplicado. Condições hidráulicas altamente energéticas na zona de arrebentação das ondas (*surf zone*) podem danificar o equipamento, impossibilitando assim, medições nesses momentos. Essas constatações foram comprovadas na campanha de inverno dos perfis "A" e "B" na zona de ante-praia trecho mais exposto às ondas do quadrante sul. Deficiências aqui identificadas podem ser solucionadas através de levantamentos batimétricos na zona de ante-praia utilizando *jetski* ou cálculos empíricos de estimativas de profundidades de fechamento do perfil em condições de ondas extremas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa (Processo Nº 477749/2007 - 0).

BIBLIOGRAFIA

- Andrade, F.; Ferreira, M.A. (2006) - A Simple Method of Measuring Beach Profiles. *Journal of Coastal Research*, 22(4):995-999. DOI:10.2112/04-0387.1
- Baptista, P.; Bastos, L.; Cunha, T.; Bernardes, C.; Dias, J.A. (2008) - Aplicação de metodologias de monitorização GPS em litorais arenosos: Geração de modelos de elevação do terreno. *Revista da Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 8(1):9-23. Disponível em http://www.aprh.pt/rgci/pdf/revista8f1_1.pdf.
- Castro, J.W.A.; Coutinho, N.M. (2007) - Erosão e deposição de sedimentos nas praias da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro. *11º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA)*, Belém, PA, Brasil. Publicado em CD Rom.
- Castro J.W.A.; Ramos, R.R.C.; Senra, M.C. (2009) - Coquinas da Paleolaguna da Reserva Tauá - Pântano da Malhada, Cabo Frio, RJ, um Registro do Optimum Climático Holocênico. In: Winge, M; Schobbenhaus, C; Souza, C.RG; Fernandes, A.C.S; Berbert-Born; Queiroz, E.T & Campos, D.A. (eds.), *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. SIGEP - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleontológicos. Vol. 2, pp. 269-276, CPRM, Brasília, DF, Brasil.
- Castro, J.W.A. (2010) - Ilhas oceânicas da Trindade e Fernando de Noronha, Brasil: Uma visão da Geologia Ambiental - *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management* 10(3):303-319. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-170_Castro.pdf.
- Castro, J.W.A.; Suguio, K. (2010) - Holocene and Late Pleistocene relative sea level fluctuations in Cabo Frio island, Rio de Janeiro - Brazil. *4^{ème} Congrès Français de Stratigraphie*, 1:58-60, Paris, França.
- CERC (1984) - *Shore Protection Manual*. Vol. 1, 650p., U.S. Army Coastal Engineering Research Center (CERC), Fort Belvoir, VA, U.S.A. ISBN 39180-6169.
- Coutinho, N.M. (2007) - *Erosão e Deposição de Sedimentos no Arco de Praia, Barra da Tijuca/Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro (RJ)*. Dissertação de Mestrado em Geologia, 89 p., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (Não publicado).
- Dias, F.F. (2009) - *Variações Relativas do Nível do Mar no Litoral de Búzios e Cabo Frio, Estado do Rio de Janeiro: Reconstituição Holocênica e Cenários Futuros*. Tese de Doutorado em Geologia, 163 p., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. (Não publicado).
- Emery, K.O. (1961) - A simple method of measuring beach profiles. *Limnology and Oceanography*, 6(1):90-93. Disponível em http://www.aslo.org/lo/toc/vol_6/issue_1/0090.pdf.
- Fernandes, D. (2010) - *O Processo Erosivo na Praia das Tartarugas - Rio das Ostras / Estado do Rio de Janeiro: Dinâmica Sedimentar e Controle Ambiental*. Dissertação de Mestrado em Geologia, Universidade 95p., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (Não publicado).
- Hallermeier, R.J. (1981) - A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering*, 4(1):253-277. DOI:10.1016/0378-3839(80)90022-8.
- IBGE (1994) - *Especificações e normas gerais para levantamentos GPS*. 18p., Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/normas_gps.pdf

- IBGE (2011) - Sinopse do Censo Demográfico 2010. 261p., Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Brasília, DF, Brasil. ISBN: 9788524041877.
- Krause, G. (2004) - The Emery Method: Revisit performance of an inexpensive method of measuring Beach Profiles and Modifications. *Journal of Coastal Research*, 20(1):340-346. DOI:10.2112/04-0387.1.
- Lamego, A. (1946) - *O homem e a restinga, Rio de Janeiro*. 305 p. Editora Lidador Ltda, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Martin, L; Suguio, K; Dominguez, J.M.L.; Flexor, J.M. (1997) - *Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Estado do Espírito Santo*. 140 p., Editora CPRM/FAPESP, Brasília, DF, Brasil.
- Parson, L.E. (1997) - *Beach and nearshore survey technology*. U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal engineering technical note CETN II-38, 10p., Vicksburg, MS, U.S.A. Disponível em <http://chl.erdc.usace.army.mil/library/publications/chetn/pdf/cetn-ii-38.pdf>
- Pereira, R.S.; Castro, J.W.A. (2007) - Topographic beach profiling with differential global positioning system (DGPS) - Però beach, Cabo Frio, Rio de Janeiro State, Brazil. *Proceedings of 10th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Publicado em CD-Rom.
- Pereira, R.S. (2008) - *Avaliação do Risco Geológico no Arco Praial do Però, Município de Cabo Frio (RJ)*. Dissertação de Mestrado em Geologia, 125p., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (Não publicado).
- Pilkey, O.H. (1993) - The concept of Shoreface Profile of Equilibrium: A Critical Review. *Journal of Coastal Research*, 9(1):255-278.
- Ruggiero, P; Kaminsky, G.M; Gelfenbaun, G.; Voigt, B. (2005) - Seasonal to Interannual Morphodynamics Along a High Energy Dissipative Littoral Cell. *Journal of Coastal Research*, 21(3):553-578. DOI:10.2112/03-0029.1
- Silva, C.G. (2004) - Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: Baptista Neto, J.A., (org.), *Introdução a Geologia Marinha*, pp. 175-218, Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ISBN: 8571930988.
- Silva, A.C. (2009) - *Evolução batimétrica e sedimentológica da região do cabo Frio - Estado do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado em Geologia, 198p., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. (Não publicado).
- Souza, C.R.G; Souza Filho, P.W.M; Esteves, L.S; Vital, H; Dillenburg, S.R; Patchineelam, S.M; Addad, J.E. (2005) - Praias arenosas e erosão costeira. In: Souza C.R.G; Suguio, K; Oliveira, A.M.S; Oliveira, P.R. (eds.), *Quaternário do Brasil*, pp 130-152, Editora Holos, Ribeirão Preto, SP, Brasil. ISBN: 85-86699-47-0.
- Suguio, K. (1992) - *Dicionário de Geologia Marinha*. 171p., T. A. Queiroz Editor, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 85-7182-001-5.
- Turcq, B. (1999) - Origin and evolution of the quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: Knoppers, B. (org.), *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil*, pp., 25 - 46, Editora UFF, Niterói, RJ, Brasil.
- USACE (1995) - *Coastal Geology*. 257p., United States Army Corps of Engineers (USACE), Washington, D.C., U.S.A. ISBN: 1-4102-1813-9. Disponível em <http://www.scribd.com/doc/25283601/Coastal-Geology>.