

Análise de 22 anos (1991 - 2013) da evolução costeira para a porção do litoral cearense, a oeste da cidade de Fortaleza, por meio de imagens históricas da série Landsat

Emanuel Andrade Albuquerque Mororó¹

Rayssa Magdyelli Nogueira da Silva¹

Michael Vandesteem Silva Souto¹

Cynthia Romariz Duarte¹

¹ Universidade Federal do Ceará – UFC/Campus do Pici

CEP 60455-760 - Fortaleza - CE, Brasil

emanuel_mm@yahoo.com.br, rayssa_magdy@hotmail.com

{michael.souto, cynthia.duarte}@ufc.br

Abstract. Erosion and shoreline retrogradation might cause severe damage to coastal cities. The Brazilian coast segments under the effect of erosion prevail in relation to segments in process of progradation, occupation and urbanization of the coastline are associated with coastal erosion due to interference of coastal constructions on sediment balance. This work aims to analyze shoreline evolution of Icaraí, Pacheco and Tabuba beaches is analyzed using remote sensing data from Landsat 5 - TM and Landsat 8 - OLI satellites on the course of 22 years (1991-2013). We analyzed, using multitemporal images, intervals ranging from seven to twenty two years: one interval of eight years (1991-1999), two intervals of seven years (1999-2006 and 2006-2013) and the total interval of analysis from 22 years (1991-2013). Images used here were obtained during the months that correspond to the destructive period of beaches in Northeastern Brazil region (between the months of July, August and September). Digital Image Processing techniques were used to highlight shoreline surface data. To enhance coastline data an RGB composite were generated, after that multitemporal shoreline raster data were converted to vector data. Those vectors were intersected to identify areas of erosion and accretion. The results show a trend of intense erosion for practically the entire area studied.

Palavras-chave: remote sensing, erosion, shoreline, sensoriamento remoto, erosão, linha de costa.

1. Introdução

Na costa brasileira os segmentos sob efeito de erosão predominam em relação aos trechos em processo de progradação, a ocupação e urbanização do litoral estão associadas à erosão costeira devido a interferências de obras costeiras no balanço sedimentar e à presença de uma orla "fixada" pela urbanização (Mueher, 2006). Erosão sendo definida como a retirada de sedimentos do ambiente, sendo que seu processo inverso é a acreção (Savi, 2007).

Um conceito idealizado de linha de costa é que ela coincide com a interface entre terra e mar (Dolan, 1980). Bird (2008) definiu a linha de costa como o limite máximo da maré alta e superfície subárea não alcançada pelas marés, exceto em ocasiões especiais como tempestades e tsunamis. Para esse estudo utilizamos a definição de Souto (2009): linha de costa é o limite entre as porções úmidas e secas visíveis in situ nas praias, em fotografias de baixa altitude e também em imagens orbitais de média a alta resolução espacial.

Segundo Souto (2009), para avaliar áreas críticas quanto à erosão costeira, a utilização de dados multitemporais possibilita acompanhar as modificações na morfologia costeira por meio da linha de costa. Para o levantamento multitemporal das linhas de costa na área estudada foi utilizada uma técnica de análise baseada na metodologia apresentada por Amaro *et al.* (2012).

O Litoral do município de Caucaia-CE totaliza 44 km de litoral, incluindo a Área de Proteção Ambiental do Rio Cauípe e a Estação Ecológica do Pecém, e é constituído pelas seguintes praias oceânicas arenosas: Dois Coqueiros, Iparana, Pacheco, Icaraí, Tabuba, Cumbuco e Barra do Cauípe.

A área de estudo compreendeu a praia do Icaraí e as praias imediatamente adjacentes a mesma: Pacheco (a Leste) e Tabuba (a Oeste). Todas sendo praias oceânicas arenosas de orientação majoritariamente NW-SE. A praia do Icaraí, foco desse estudo, possui 65% de sua

linha de costa artificializado por estruturas urbanas, sendo esta a quarta praia mais visitada do estado (Paula *et al.*, 2013).

O objetivo deste trabalho é analisar a evolução da linha de costa nas praias do Icarai, Pacheco e Tabuba. Identificando áreas de erosão/acresção (ou estabilidade), por meio de dados históricos (multitemporais) de sensores remotos e da utilização de técnicas de geoprocessamento.

2. Metodologia de Trabalho

Para o desenvolvimento desse estudo foi utilizado a metodologia proposta por Amaro *et al.* (2012). A base de dados, para a elaboração deste trabalho, consistiu em cenas dos satélites Landsat 5 (sensor TM) e Landsat 8 (sensor OLI) entre os anos de 1991 e 2013 adquiridas juntas ao Global Land Cover Facility (GLCF) e ao United States Geological Survey (USGS).

As imagens foram obtidas para as seguintes datas: 21/07/1991, 12/08/1999, 14/07/2006, 02/08/2013. Sendo apenas a última uma imagem do satélite Landsat 8, todas as outras imagens do Landsat 5. As coordenadas dos centros das imagens são respectivamente: Latitude -2.89269, Longitude -39.01395; Latitude -2.89815, Longitude -38.93454; Latitude -2.90123, Longitude -38.94279; Latitude -2.89273, Longitude -38.92465. Obtidas nos horários: 12:09:49, 12:23:55, 12:39:13, 12:48:09. As imagens são de períodos próximos, para que possamos analisar um período cujas condições climáticas sejam similares em cada imagem adquirida, que correspondem ao período destrutivo das praias para região Nordeste (entre os meses de Julho, Agosto e Setembro).

Em ambiente PDI (Processamento Digital de Imagens) foi realizado o pré-processamento das imagens: a fusão das bandas espectrais e o georreferenciamento. Na fusão das bandas das imagens do satélite Landsat 5 foram utilizadas as bandas: 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Sendo a banda termal descartada. Para a fusão das bandas do satélite Landsat 8 foram descartadas as bandas termais e pancromática (8, 10 e 11), utilizamos as bandas: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 9. O georreferenciamento foi realizado com base nos dados GLS2005 (Global Land Survey 2005) nas imagens das seguintes datas: 21/07/1991 e 12/08/1999. Para a imagem da data 02/08/2013 o georreferenciamento não foi necessário e a imagem de 14/07/2006 foi utilizada como base para nosso georreferenciamento (GLS2005).

Para o realce da linha de costa as bandas espectrais das imagens foram combinadas em sistema de cores Red-Green-Blue (RGB); para as imagens do sensor TM foi utilizada a composição R7-G4-B3, para as imagens do sensor OLI foi utilizada a composição R7-G5-B4.

Para o sensor TM (Landsat 5) a composição R7-G4-B3 corresponde aos seguintes comprimentos de onda: 2,09-2,35 μm , 0,77-0,90 μm e 0,63-0,69 μm . Para sensor OLI (Landsat 8) a composição R7-G5-B4: 2,11-2,29 μm , 0,85-0,89 μm e 0,64-0,67 μm . Segundo Amaro *et al.* (2012) a combinação entre bandas espectrais da faixa do visível e bandas do infravermelho auxiliam na identificação das áreas emersas, áreas úmidas emersas, corpos d'água e vegetação.

Após as etapas de pré-processamento e PDI foi realizada a vetorização e geração da linha de costa em ambiente CAD (Computed Aided Design). A vetorização da linha de costa consistiu em criar polígonos em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica) para cada imagem previamente citadas. Para elaborar os mapas de áreas de erosão/acresção foi realizada a intersecção geométrica dos polígonos representantes das linhas de costa. Criando, assim, novos polígonos correspondentes as variações temporais das linhas de costa.

Essas variações foram classificadas na forma de polígonos de acresção, erosão ou de estabilidade, em relação ao polígono da linha de costa inicial. Para realizar os cálculos das variações temporais os recuos/avanços da linha de costa, a feição gráfica vetorizada da mesma foi integrada em ambiente SIG.

3. Resultados e Discussão

Utilizando a metodologia supracitada foram elaborados análises da evolução das linhas de costa para os seguintes períodos: 1991 a 1999, 1999 a 2006, 2006 a 2013 e 1991 a 2013. Essas análises foram realizadas com dados em um intervalo de oito anos para a primeira análise, sete anos para as segunda e terceira análises e 22 anos para o período máximo comparativo. Isso nos permitiu analisar a dinâmica das linhas de costa através dos mapas de áreas de erosão/acresção e quantificar valores de área erodida, área acrescida e recuo da linha de costa como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Valores de área erodida, área acrescida, recuo médio da linha de costa por ano e área erodida por ano, para os todos os intervalos de análise.

Intervalo	Área erodida (m ²)	Área acrescida (m ²)	Recuo LC médio/ano (m/a)	Área erodida/ano (m ² /a)
1991-1999	254.083	30.656	7,25	31760
1999-2006	208.767	687	6,71	29823
2006-2013	130.041	11.256	3,61	18577
1991-2013	552.029	1.737	5,41	25092

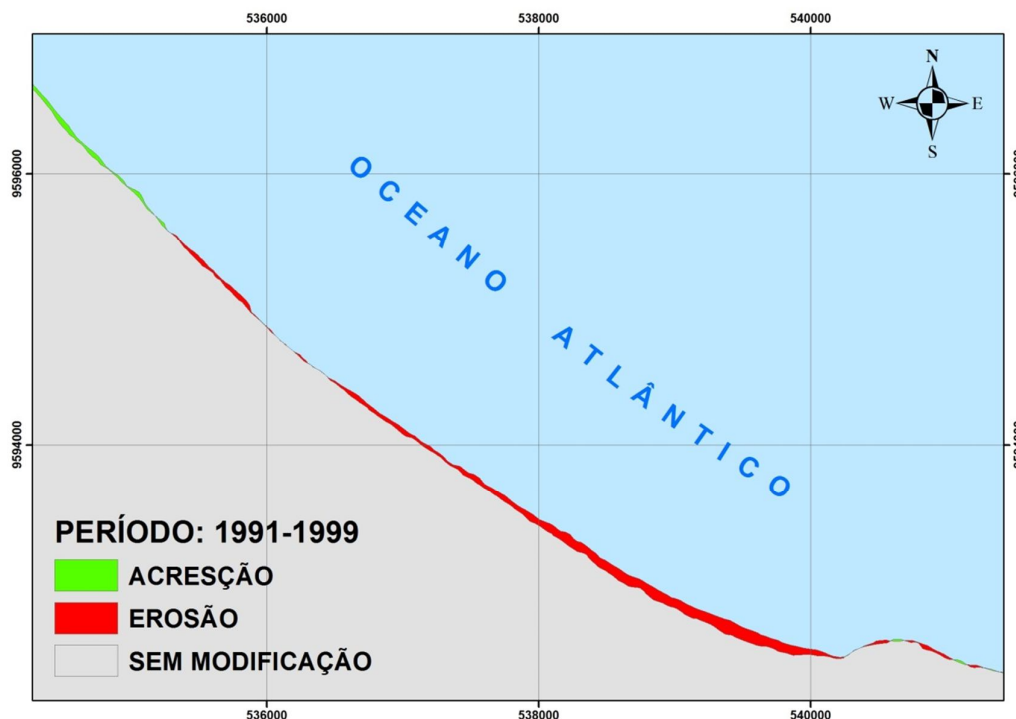


Figura 1. Mapa de áreas de erosão/acresção para o período de 1991-1999 (oito anos).

Na área estudada a direção da deriva litorânea é, predominantemente, de Sudeste para Noroeste. Sendo assim as áreas de acresção situadas a Noroeste do alinhamento principal estudado são condizentes com o processo natural da dinâmica migratória dos sedimentos, com sua trajetória condicionada pela deriva litorânea. Porém, não foi observado um equilíbrio entre acresção e erosão na escala aqui utilizada.

Para o intervalo de análise entre 1999 e 2006 observamos que as áreas que sofreram acresção foram menos significativas e as áreas erodidas foram mais distribuídas na área estudada. Os pontos em que foram registrados os máximos recuos da linha de costa deixaram

de se localizar nas proximidades da praia do Pacheco e agora se localizam próximos ao centro da praia do Icarai.

Nesse período foi construído o aterro da praia de Iracema, construção iniciada no ano de 2000 a barlar da área estudada. Aterro esse com um 1.100 m de extensão, 100 m de largura e um volume de 1.500.000 m³ de sedimentos (Vasconcelos, 2005).

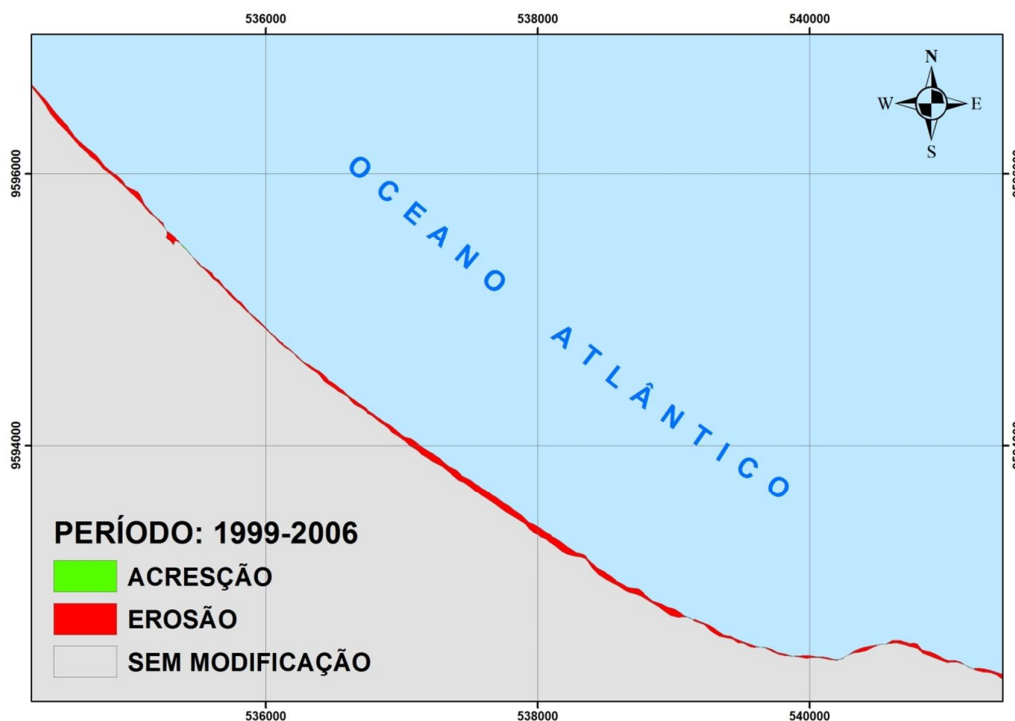


Figura 2. Mapa de áreas de erosão/acresção para o período de 1999-2006 (sete anos).

Durante o terceiro período analisado (2006-2013) houve uma considerável redução tanto na área erodida quanto no recuo da linha de costa. A área acrescida nesse terceiro período foi maior que no segundo intervalo analisado (1999-2006), mas ainda assim menor que na primeira análise (1991-1999). Essas áreas de acresção se localizaram na foz do rio Barra Nova, na praia do Pacheco e no início da praia do Icarai (Figura 3).

Em 2010 foi instalada na praia do Icarai uma estrutura rígida do tipo *Bagwall* paralela à costa com extensão inicial de aproximadamente de 835 m, posteriormente expandido para 1,4 km de extensão. O *Bagwall* é composto por onze degraus de concreto projetado para evitar que a frente urbana marítima seja atingida pelo espraio máximo das ondas e dissipar a energia das ondas. A dissipação acontece através da interação do sistema dissipador com o trem de ondas que se choca com as paredes do mesmo, criando ondas reativas. Essas ondas reativas reduzem a velocidade do trem de ondas subsequente (Souza, 2011).

Segundo Paula *et al.* (2013) a erosão costeira foi reduzida no trecho intervencionado pelo dissipador de energia *Bagwall*, nos outros trechos o processo erosivo continuou a ser intenso. Os resultados obtidos em nosso estudo condizem com essa afirmação, observamos uma redução na área erodida por ano e no recuo da linha de costa. Porém, a redução desses fenômenos foi observada em menor intensidade na área a sotamar do trecho de costa protegido pelo *Bagwall*.

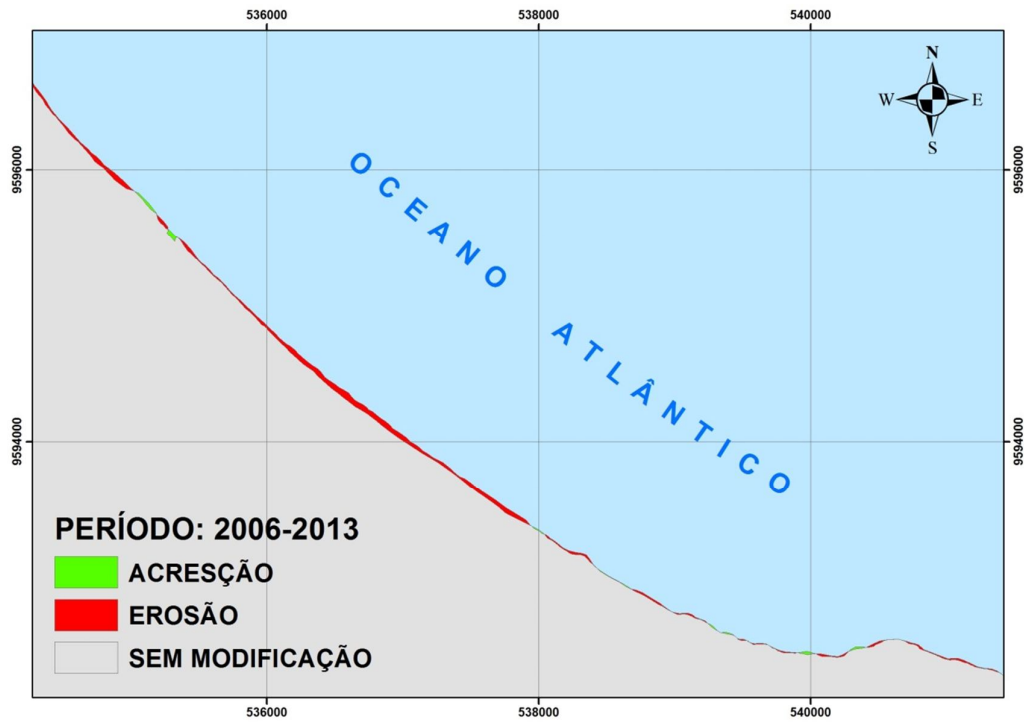


Figura 3. Mapa de áreas de erosão/acresção para o período de 2006-2013 (sete anos).

No período máximo comparativo desse estudo (1991-2013) observamos a predominância dos processos erosivos sobre os processos acrescivos, apenas uma pequena área a sotamar da foz do rio Barra Nova (rio que separa Icarai de Tabuba) sofreu acresção para esse período.

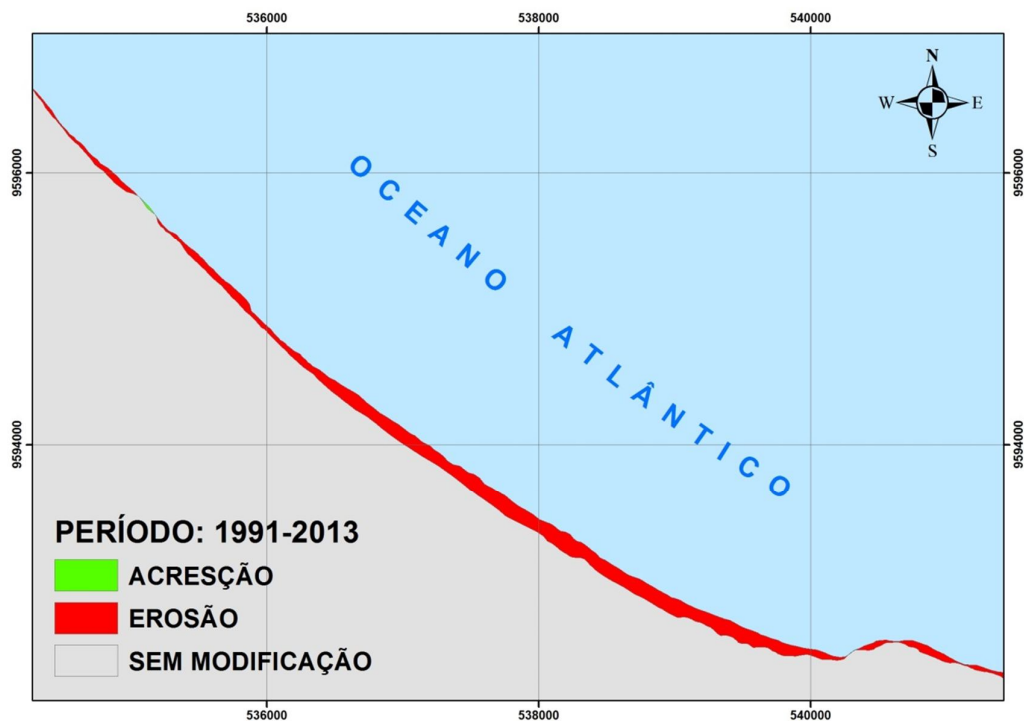


Figura 4. Mapa de áreas de erosão/acresção para o período máximo comparativo: 2006-2013 (sete anos).

A linha de costa da praia da Tabuba no período de 1991 a 1999 estava em processo de progradação (avancando em média 3,02 m/ano), mas no período total desse estudo observamos o retrogradação de sua linha de costa (recuando em média 1,18 m/ano). Áreas antes acrescidas sofrem erosão, possível erosão mais a sotamar. Áreas mais afetadas: Icarai e Pacheco.

Seguindo esse padrão poderíamos ter, no futuro, retrogradação da linha de costa em áreas que historicamente não sofrem esse processo, a sotamar da área estudada. Segundo *Morais et al.* (2006) na praia de Cumbuco, os processos erosivos são bem menores quando comparados as praias de Icarai, Pacheco e Iparana. E no seguimento que se estende até a Ponta do Pecém os fenômenos erosivos estão praticamente ausentes.

Para o trecho de praia pertencente às praias do Icarai e Pacheco aqui estudado observamos a predominância do caráter erosivo por quase toda a extensão dessas duas praias. Apesar da redução do efeito erosivo e do recuo da linha de costa no período de 2006 a 2013 em relação aos períodos 1991-1999 e 1999-2006 o efeito erosivo continua intenso, 18577 m² de área por ano e um recuo de 3,61 m por ano.

A redução no efeito erosivo pode ter sido ocasionada pela construção do *Bagwall* em 2010. Porém o mesmo foi destruído, ao menos em parte, por ondas de *swell* em 2011, 2012, 2013 e 2014. Sendo assim uma solução pouco sustentável.

Segundo *Farias* (2008) os processos erosivos que ocorrem no litoral oeste, principalmente nas praias de Iparana e Icarai, tiveram início após a implantação definitiva do porto do Mucuripe, em 1945. O porto do Mucuripe alterou o fluxo sedimentar, reduzindo o aporte de sedimentos para as praias em questão, fazendo com que a linha de costa recue até atingir uma nova posição de equilíbrio.

A construção do molhe do titã alterou a direção das ondas, tanto de vazante quanto de enchente, e o fluxo de sedimentos oriundos do Leste da ponta do Mucuripe causando um assoreamento na porção interna do molhe e uma redução no aporte de sedimentos para as praias a oeste do molhe do titã (*Farias, 2008; Fecchinne, 2007*).

Morais et al. (2006) observou que a construção do porto do Mucuripe (em 1945) e os sucessivos espigões na orla de fortaleza causaram impactos nas praias de Caucaia, causando um recuo de aproximadamente 200 m da linha de costa nas praias de Iparana, Pacheco e Icarai. Em nosso estudo observamos um recuo médio da linha de costa de 120 m em um período de 22 anos (1991-2013).

Na década de 70 foram construídos onze espigões na praia do Pirambu. O projeto da Prefeitura de Fortaleza Nova Praia de Iracema foi iniciado em 2011 e previa 22 intervenções incluindo: o espigão da Rua João Cordeiro, espigão da Av. Rui Barbosa, engorda da praia de Iracema. Ambos espigões já construídos e hoje delimitam o chamado aterro da praia de Iracema. Segundo *Farias* (2008) a construção dessas estruturas, que funcionam aprisionando o fluxo de sedimentos, altera o abastecimento sedimentar a Oeste da foz do rio Ceará, que mesmo em períodos de chuva não exporta sedimentos em quantidade necessária para abastecer as praias de Iparana, Pacheco e Icarai.

4. Conclusões

Os valores quantitativos gerados a partir da análise histórica das linhas de costa, por meio de imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, mostraram que para a área estudada o balanço sedimentar total no período analisado foi negativo. Processos erosivos intensos encontram-se distribuídos por todo o trecho de costa estudado, principalmente nas praias de Icarai e Pacheco, sendo erodidos em média 25092 m² de sedimentos por ano acompanhado de um recuo médio da linha de costa de 5,61 m por ano.

As obras de defesa construídas visando cessar os fenômenos erosivos acontecendo, principalmente, na praia do Icarai não impediram o recuo da linha de costa, apesar de terem

diminuído o processo de erosão que estava ocorrendo. Outras obras de engenharia que não tiveram seus efeitos aqui abordados devido à localização no tempo de nosso estudo podem vir a influenciar a dinâmica costeira da área estudada, como a barragem do rio Maranguapinho (principal afluente do rio Ceará) em 2013 e os espigões que futuramente serão instalados no litoral da cidade de Fortaleza.

Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal do Ceará e ao Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia pela estrutura e equipamentos necessários para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela oportunidade de participar do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica.

E aos professores Doutores Michael Vandestein Silva Souto e Cynthia Romariz Duarte pelas orientações precisas, incentivo e ajuda na realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

Amaro, V.E.; Santos, M.S.T.; Souto, M.V.S. **Geotecnologias aplicadas ao monitoramento costeiro: sensoriamento remoto e geodésia de precisão**. 1. ed. Natal: Autor, 2012. v. 1. 118p. (ISBN 9888591374601).

Bird, E. C. F. **Coastal geomorphology: an introduction**. England: 2nd Ed. Wiley, 2008. 384 p.

Dolan, R.; Hayden, B.P.; May, P.; May, S.K. **The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs**. *Shore and Beach*, 48(4), 22-29. 1980.

Farias, E.G.G. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará**. 2008. Tese (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, LABOMAR, UFC, Fortaleza, 2008.

Fecchinne, J.A.L.; Sales, V.C.; Peulvast, J. **Alterações no perfil natural da zona litorânea da cidade de Fortaleza, Ceará, ao longo do século XX**. *Mercator*, V. 6, n. 11, p. 125. 2007.

Morais, J.O.; Freire, G.S.S.; Pinheiro, L.S.; Souza, M.J.N.; Carvalho, A.M.; Pessoa, P.R.S.; Oliveira, S.H.M. Ceará. In: Muehe, D. (Org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 2006. 476p. (ISBN 85-7738-028-9).

Muehe, D. **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 2006. 476 p. (ISBN 85-7738-028-9).

Paula, D.P.; Dias, J.A.; Souza, M.A.L.; Neto, C.A.F.; Barros, E.L. **Monitorização de curto prazo da praia do Icarai(Caucaia, Ceará, Brasil) após construção de estrutura rígida do tipo Bagwall para controle da erosão**. In: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, 11., 2013, Maputo.

Savi, D. C. Erosão e acreção costeira na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ. **Revista Brasileira de Geofísica**, V. 25, n. 1, p.91-99. 2007.

Souto, M.V.S. **Análise da evolução costeira do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, região sob influência da indústria petrolífera**. 2009. Tese (Doutorado em Geodinâmica) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica e Geodinâmica, UFRN, Natal, 2009.

Souza, M.A.L. Recuperação de Praias com o uso do Dissipador de Energia Bagwall no Litoral dos Estados de Alagoas e do Ceará, Brasil. **Revista Gestão Costeira Integrada**, V. 11, n. 4, p. 487-489. 2011.

Vasconcelos, F.P. **Gestão integrada da zona costeira: ocupação antrópica desordenada, erosão, assoreamento e poluição ambiental do litoral de Fortaleza**. Ed. Primus, p. 88. 2005.