

## **EROSÃO COSTEIRA E FAIXAS DE RECUO EM PRAIAS ARENOSAS DO SUL DE SERGIPE, BRASIL**

*COASTAL EROSION AND SETBACK LINES ON SOUTHERN SERGIPE SANDY BEACHES, BRAZIL*

**João Paulo da Silva SANTOS, Ana Cláudia da Silva ANDRADE, Paulo Sérgio de Rezende NASCIMENTO; Laís Peixoto RAMOS**

Laboratório de Geologia Costeira e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon, S/N, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, Aracaju – SE.

E-mails: jpaulo.ssantos@outlook.com; acsaa@academico.ufs.br; paulonascimento@academico.ufs.br; laisapeixoto@gmail.com

### Introdução

Caracterização regional e área de estudo

### Materiais e métodos

Geoprocessamento e mapeamento multitemporal da linha de costa

Determinação da taxa de variação e do comportamento da linha de costa

Análise da eficiência do uso de faixas de recuo

### Resultados e discussão

Taxa de variação e comportamento da linha de costa

Eficiência do uso de faixas de recuo

### Considerações finais

Agradecimentos

Referências

**RESUMO** - O objetivo do trabalho foi analisar as mudanças históricas da linha de costa e verificar a eficiência de faixas de recuo em praias arenosas, estuarina e oceânicas, localizadas no sul de Sergipe, nordeste do Brasil. A metodologia consistiu na determinação da taxa de variação e do comportamento da linha de costa (1971 a 2017) e na análise de eficiência do uso de faixas de recuo para construções leve e pesada, caso tivessem sido implementadas em 1971. As praias estuarinas e oceânicas em erosão apresentaram taxas médias de -5,6 e -1,6 m/ano, respectivamente. O comportamento erosivo da linha de costa ocorreu em 82,4 % da praia estuarina e em 38,6 % das praias oceânicas. A análise da eficiência das faixas de recuo para construção pesada mostrou que se tivessem sido implementadas em 1971, muitos dos danos às estruturas antrópicas teriam sido evitados. No entanto, a metodologia adotada foi inadequada por não considerar o tempo de análise (curto, médio ou longo prazo). O uso da taxa erosiva verificada em cada localidade multiplicada pelo tempo desejado parece ser a alternativa mais viável na ausência de outros dados. Este estudo demonstra que um método simples pode ser usado com sucesso.

**Palavras-chave:** Linha de costa. Mudanças históricas. Taxa de variação. Análise da eficiência.

**ABSTRACT** - The aims of this paper were to analyze the historical shoreline changes and to verify the efficiency of setback lines on estuarine and oceanic sandy beaches located on south Sergipe, northeastern Brazil. The methodology consisted in determining the rate of change and the behavior of shoreline (1971 to 2017), and in analyzing the efficiency of the use of setback lines for light and heavy buildings if they had been implemented in 1971. The estuarine and ocean beaches presented respectively -5.6 and -1.6 m/year average erosive rates. The shoreline erosive behavior occurred in 82.4 % of the estuarine beach and in 38.6 % of the ocean beaches. The setback lines efficiency analysis for heavy building showed that if they had been implemented in 1971, many of the damage to anthropic structures would have been avoided. However, the methodology adopted is inadequate, as it does not consider the time period (short, medium or long-term). The use of the erosive rate verified in each location multiplied by the desired time seems to be the most viable alternative in the absence of other data. This study demonstrates that a simple method can be used successfully.

**Key words:** Shoreline. Historical changes. Rate of change. Efficiency analysis.

## **INTRODUÇÃO**

A linha de costa é definida como o limite entre o continente e oceano, sendo sua dinamicidade devido à atuação de ondas, correntes e marés e, em outra escala de observação, do nível do mar (Bird, 2008). Em áreas contíguas a desembocaduras fluviais, a descarga fluvial exerce um papel importante na dinâmica costeira (Fitzgerald, 1984).

A depender da disponibilidade de sedimentos, a linha de costa pode avançar ou recuar. O balanço sedimentar negativo pode estar associado à atuação de fenômenos naturais e/ou antrópicos, tais como intensificação de tempestades, aumento na energia

das ondas, redução no aporte fluvial, elevação do nível do mar, reflexão de ondas, entre outros (Bird, 2008). Fitzgerald (1984) atribuiu a influência de deltas de maré vazante nas mudanças na configuração da linha de costa em praias de desembocaduras de canais de maré ou de rios.

O avanço e o recuo da linha de costa podem ocorrer em diversas escalas de tempo, desde diária até secular. Segundo Crowell et al. (1993), os estudos podem abordar escalas temporais de curto (até 10 anos), médio (de 10 a 60 anos) e longo prazo (acima de 60 anos). Kuleli (2010)

considerou como de longo prazo os estudos que envolvem análise temporal superior a 30 anos. Independente do estudo ser considerado de curto, médio ou longo prazo, o tempo de análise é importante para a quantificação das mudanças da linha de costa e, conseqüentemente, para a compreensão dos processos de erosão e acreção costeira (Sheeja & Ajay Gokul, 2016).

Em função da ocupação humana crescente de zonas costeiras, os casos de recuo se tornaram grandes problemas socioeconômicos decorrentes de danos nas estruturas antrópicas (Bird, 1985; Hansom, 1988; Pilkey, 1991). Com intuito de proteger as estruturas antrópicas em áreas sob erosão costeira são propostos alguns métodos de proteção costeira: correção, acomodação e recuo.

Os métodos de correção incluem dois tipos: com estruturas pesadas (molhes, espigões, enrocamentos de rocha, quebra-mar etc.) e com estruturas leves (realimentação de praias, restauração de dunas etc.). Os métodos de acomodação envolvem planos de adequação, a exemplo de relocação das estruturas antrópicas (Bijlsma, 1997; Linham & Nicholls, 2010). Dentre os métodos de recuo, destacam-se as faixas de proteção ou recuo (*setback lines*) que constituem faixas estabelecidas da linha de costa até uma posição mais interna, na qual são limitadas ou até proibidas ocupações antrópicas (Komar et al., 2002; Ferreira et al., 2006; Sabatier et al., 2009; Weele et al., 2010; Sanó et al., 2011; Simpson et al., 2012; Jongejan et al., 2016).

Muitas das metodologias para a determinação da largura de faixas de recuo requerem dados, tais como: recuo da linha de costa por eventos de tempestade (Ferreira et al., 2006; Sabatier et al. 2009), projeção local de elevação do nível relativo do mar (Ferreira et al., 2006; Goble & MacKay, 2013), vulnerabilidade costeira (Goble & MacKay, 2013) e declividade média da costa (Simpson et al. 2012). Alguns destes dados, obtidos ou não por simulações numéricas, nem sempre estão disponíveis para muitos locais.

Segundo Linham & Nicholls (2010), a taxa de variação da linha de costa é utilizada no caso de ausência de dados, pois é de fácil obtenção, bastando para isso mapear a linha de costa em diferentes datas. Ferreira et al. (2006), num cenário mais simples, utilizaram a taxa de variação multiplicada pela quantidade de anos projetada para o futuro. Cicin-Sain & Knetch, (1998, segundo Muehe, 2001) utilizaram a taxa de

variação multiplicada pelo tipo de construção.

O comportamento da linha de costa, baseado nas taxas de variação da linha de costa, foi proposto por Luijendijk et al. (2018). De acordo com estes autores, 24% das praias arenosas do mundo estão em erosão a taxas superiores a -0,5 m/ano, 48% estão estáveis e 28% em acreção. Em alguns trabalhos realizados no Brasil e no mundo, os valores das taxas de erosão não excederam 10 m/ano (Andrade & Dominguez, 2008; Hapke et al., 2009; Mazzer & Dillenburg, 2009; Oyedotun, 2014; Mahapatra et al., 2014; Jonah et al., 2016). Entretanto, nos trabalhos de Angulo et al. (2006); Sabatier et al. (2009); Kuleli (2010); Chaaban et al. (2012) e Hoang et al. (2015), foram encontradas taxas de variação superiores a 10 m/ano. De uma forma geral, as taxas superiores a 10 m/ano foram obtidas em praias próximas a desembocaduras fluviais ou canais de maré. As taxas inferiores foram obtidas em praias oceânicas ou próximas a falésias e promontórios rochosos.

Em Sergipe, NE do Brasil, esse tipo de abordagem foi realizado por Traini et al. (2012) no delta do São Francisco, onde o recuo da linha de costa ocorrido entre 1986 e 2001 atingiu valores até -98 m/ano, causando o desaparecimento do povoado do Cabeço. Jesus & Andrade (2018) calcularam a taxa de variação da linha de costa contígua à margem direita da foz do rio Sergipe, utilizando dados obtidos em perfis de praia e imagens de satélite para o período de 2007 a 2015. As taxas erosivas variaram de -0,5 a -13,0 m/ano, sendo que os maiores valores foram reportados na porção mais próxima da foz do rio. Por conta disso, Jesus & Andrade (2018) recomendaram faixas de recuo para evitar novas construções. Em outras regiões do Estado, a exemplo do litoral sul, dados quantitativos sobre a variação da linha de costa são inexistentes.

O litoral sul de Sergipe tem registrado erosão costeira nas últimas décadas, com danos às estruturas antrópicas e perdas socioeconômicas. As causas da erosão podem ser diversas. Nas desembocaduras dos rios as causas têm sido atribuídas à dinâmica de canais fluviais e das barras arenosas, que segundo Oliveira (2003), Bittencourt et al. (2006) e Dominguez et al. (2018), se assemelham a deltas de maré vazante.

A erosão costeira no sul do estado de Sergipe motivou a realização deste trabalho, cujos objetivos foram analisar as variações históricas e o comportamento da linha de costa, além de

verificar a eficiência de faixas de recuo em praias arenosas estuarina e oceânicas. Para análise da eficiência de faixas de recuo foi empregado um método simples, descrito na literatura, que utiliza basicamente uma variável, a taxa de variação da linha de costa.

A intensificação da erosão costeira devido à elevação do nível do mar e ao aumento das tempestades relacionadas às mudanças climáticas podem agravar mais este cenário (IPCC, 2018). Desta forma, esse trabalho fornece subsídios ao planejamento ambiental do litoral sul do estado de Sergipe.

### **Caracterização regional e área de estudo**

O litoral do estado de Sergipe apresenta 168 km de extensão. Os rios que desaguam no litoral, de norte a sul, englobam: São Francisco, Japara-tuba, Sergipe, Vaza Barris, Piauí e Real, sendo que esses dois últimos desembocam em uma única foz. O rio São Francisco apresenta a maior vazão média, em torno de 1.780 m<sup>3</sup>/s. Os demais rios apresentam vazão média pouco expressiva, variando de 10 a 23 m<sup>3</sup>/s (SEMARH, 2012).

O clima do litoral centro-sul de Sergipe é tropical úmido, com temperatura média anual em torno de 25,6°C, mínima de 23,0 °C e máxima de 29,0 °C. A precipitação pluviométrica anual é de cerca de 1.400 mm, sendo os períodos mais chuvosos de abril a julho e os meses mais secos, de outubro a janeiro (Climate Data, 2020).

O regime de marés é do tipo semidiurno em mesomaré, com alturas máximas de cerca de 2 m (DNH, 2018). As ondas mais frequentes são provenientes de leste (E), sudeste (SE) e sul (S). As ondas de E predominam na primavera, no verão e no outono. No outono ocorrem, ainda, ondas de S e SE. No inverno, as ondas mais frequentes são de SE, seguidas das ondas de E. As ondas possuem alturas médias em torno de 1 e 2 m na primavera-verão e entre 2 e 3 m, no outono-inverno (Pianca et al., 2010). Os dados do modelo de refração de ondas indicaram que o transporte longitudinal de sedimentos no estado de Sergipe é predominantemente de NE para SW. Existem dois pontos com inversão no sentido do transporte próximo às praias do Abaís e da Caueira (Oliveira, 2003).

O aporte do rio São Francisco e o sentido do transporte longitudinal de sedimentos para SW favoreceram o comportamento predominantemente progracional da planície costeira durante o Quaternário (Dominguez et al., 2018). Desta forma, uma planície quaternária, com cerca de 5 km de largura, bordeja a linha de costa atual de Sergipe.

A planície costeira compreende unidades geológico-geomorfológicas pleistocênicas, holocênicas e atuais, tais como: terraços marinhos, dunas e paleodunas, terras úmidas/lagoas, manguezais e praias (Bittencourt et al. 1983, Ramos et al., 2021). A presença de barras arenosas nas desembocaduras dos rios Vaza-Barris e Piauí/Real foi reportada por Oliveira (2003), Bittencourt et al. (2006) e Dominguez et al. (2018).

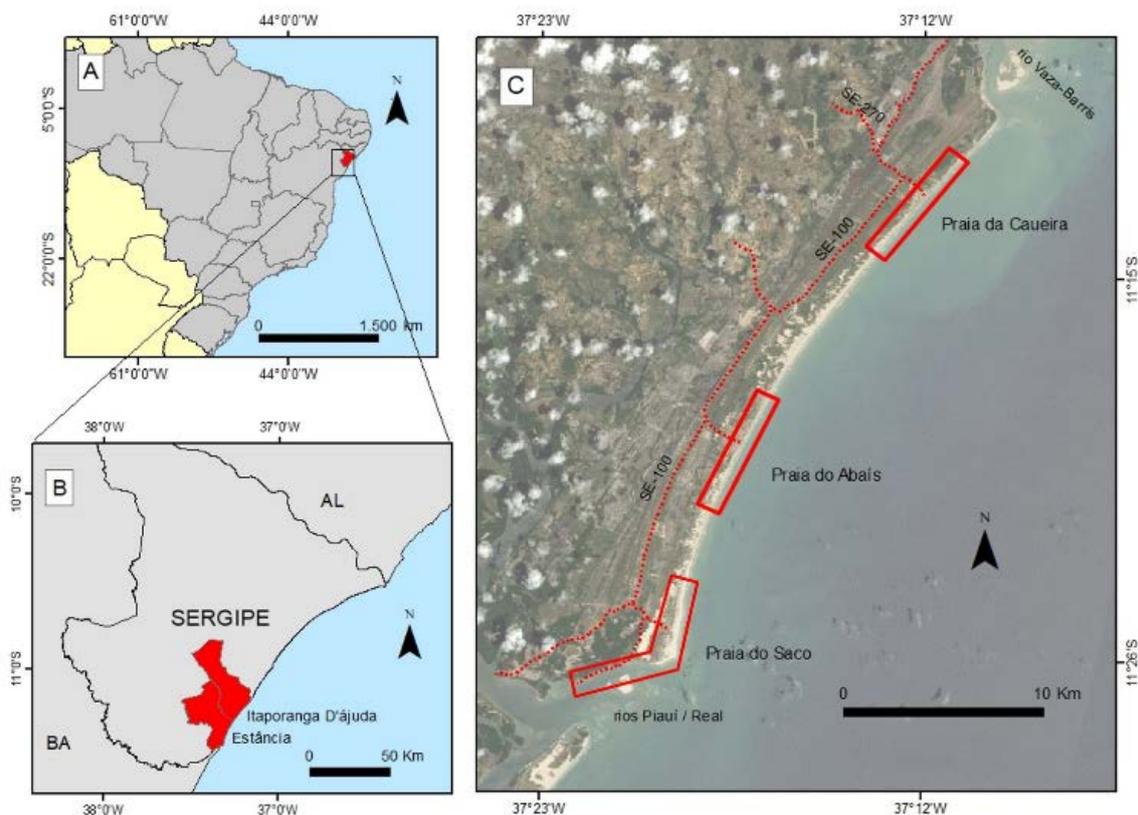
O litoral sul, com cerca de 30 km de extensão, apresenta forma de arco e é limitado a norte e a sul pelas desembocaduras dos rios Vaza-Barris e Piauí/Real, respectivamente. Para esse trabalho, foram selecionadas as praias arenosas com histórico de erosão costeira e com ocupação humana. A porção sul da praia do Saco constitui uma praia arenosa estuarina (de desembocadura fluvial), enquanto a porção norte da praia do Saco, a praia do Abaís e a praia da Caueira constituem praias arenosas oceânicas (Figura 1). O estágio morfodinâmico destas praias, segundo Oliveira (2003), varia de dissipativo a intermediário, com sedimentos do tamanho areia fina a muito fina.

A ocupação humana é representada por primeiras e segundas residências, pousadas e estrutura de recreação e lazer, com calçadões, praças e bares/restaurantes. Muitas das ocupações ocorrem imediatamente na retaguarda da praia. As atividades de turismo são mais expressivas na praia do Saco, com o aluguel de quadriciclos, passeios de bugres nas dunas e de barco para ilha da Sogra localizada na foz dos rios Piauí/Real (Jornal da Cidade, 2018). Devido ao processo de erosão costeira, a igreja centenária da Nossa Senhora da Boa Viagem, patrimônio histórico, além de residências e estruturas de recreação e lazer estão ameaçadas. Em função do recuo da linha de costa, as construções antrópicas foram protegidas por estruturas de contenção.

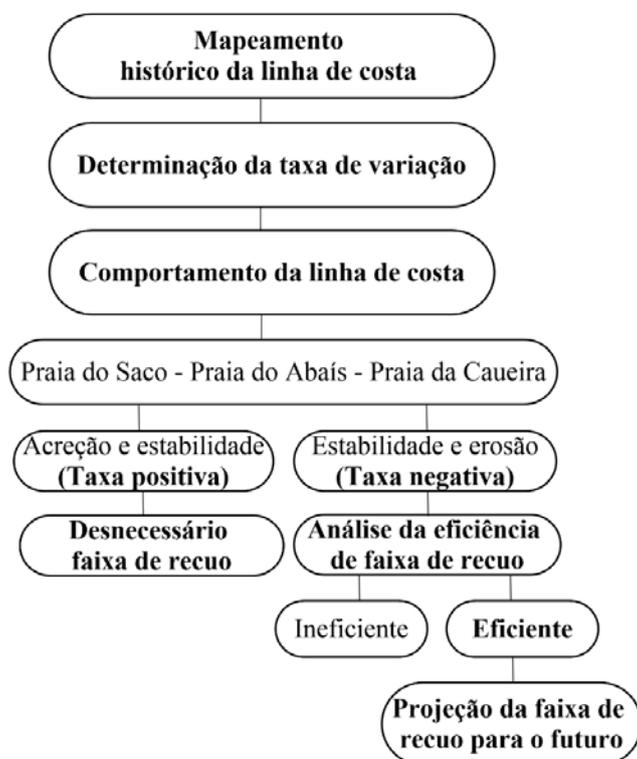
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Este trabalho consistiu na integração das seguintes fontes de informação: mapeamento histórico, taxa de variação, comportamento da linha de costa e

análise da eficiência de uso de faixas de recuo. O fluxograma de aplicação do método está apresentado na figura 2.



**Figura 1** - Localização da área de estudo. (A) No Brasil (A); (B) Em Sergipe; (C). No litoral sul, com destaque (quadrículas vermelhas) para as praias arenosas estuarina (sul do Saco) e oceânicas (norte do Saco, Abaís e Cauceira). O sentido do transporte longitudinal é predominantemente de NE para SW. Fonte: Imagem Sentinel2 de 7 de dezembro de 2017.



**Figura 2** – Fluxograma de aplicação da metodologia.

### Geoprocessamento e mapeamento multitemporal da linha de costa

O mapeamento multitemporal da linha de costa foi baseado nas fotografias aéreas de 1971 (SAC-Serviço Aéreo Cruzeiro do Sul, escala 1:70.000) e de 2004 (BASE-Aerofotogrametria e

Projetos S.A., 1:25.000) e nas imagens de satélite de 2013 (*RapidEye*, resolução 6,5 m) e de 2017 (*Sentinel2A*, resolução 10,0 m). As imagens de satélite *RapidEye* e *Sentinel-2A* são disponibilizadas georreferenciadas no *Datum* WGS84, o qual possui base geodésica compatível ao

SIRGAS 2000. O georreferenciamento das fotografias aéreas de 1971 e de 2004 foi executado, com base nas imagens de satélite *Sentinel2A*, com erro médio quadrático (RMS) de 0,084 m no programa ArcGIS 10.2, no Datum *South American* - SIRGAS 2000.

O indicador de linha de costa utilizado nesse trabalho foi a linha d'água (*shoreline*), pois é de fácil reconhecimento em fotografias aéreas de média escala e em imagens de satélite de média resolução (Shoshany & Degani, 1992; Pajak & Leatherman, 2002; Boak & Turner, 2005). Apesar da linha d'água (*shoreline*) variar com o estágio da maré (baixa ou alta, sizígia ou quadratura) e a linha de costa (*coastline*) não variar com as marés, esta última não é de fácil mapeamento em áreas com dunas bordejando as praias, como é o caso da área de estudo.

### **Determinação da taxa de variação e do comportamento da linha de costa**

As taxas de variação da linha de costa foram obtidas pelo método ponto de terminação (*end point rate* - EPR) com o uso da extensão *Digital Shoreline Analysis System* - DSAS (Thieler et al., 2009) do programa ArcGIS 10.2. Esse método, utilizado em estudo com poucas imagens aéreas, é obtido pela diferença entre a distância da linha de costa mais antiga e a mais recente, dividido pelo tempo (Dolan et al., 1991; Ferreira et al., 2006; Sheeja & Ajay Gokul, 2016). A partir da linha de base, colocada no continente, foram criados 35 transectos ortogonais à linha de costa, com equidistância de 200 m entre si em cada praia investigada. A linha de costa de 1971, com a presença de um pontal arenoso no limite entre a praia estuarina e a praia oceânica, teve seu traçado suavizado,

evitando assim que os transectos cruzassem a linha de costa duas vezes.

As taxas de variação da linha de costa, visando identificar alguma tendência ao longo do tempo, foram analisadas por períodos: 1971-2004 (33 anos, médio prazo), 2003-2013 (9 anos, curto prazo) e 2013-2017 (4 anos, curto prazo) e para todo o período de estudo, de 1971-2017 (46 anos, médio prazo). A classificação do comportamento da linha de costa para todo o período (1971-2017) foi baseada em Luijendijk et al. (2018), onde: acreção ( $> +0,5$  m/ano), estabilidade ( $+0,5$  a  $-0,5$  m/ano), erosão ( $-0,5$  a  $-1$  m/ano), erosão intensa ( $-1$  a  $-3$  m/ano), erosão severa ( $-3$  a  $-5$  m/ano) e erosão extrema ( $> -5$  m/ano). Adicionalmente, fotografias tiradas em campo em diferentes datas (28/10/2007, 07/11/2011, 26/05/2017 e 26/09/2018) serviram para exemplificar o problema de erosão costeira nas praias investigadas.

### **Análise da eficiência do uso de faixas de recuo**

O método estabelecido na Carolina do Norte, EUA (Cicin-Sain & Knecht, 1998, segundo Muehe, 2001) foi modificado para ser testado neste trabalho. Trata-se de um método simples, o qual necessita apenas da taxa de recuo local e um valor arbitrário para situações com construções leves (casas) ou com construções pesadas (edifícios). Para construção leve ou construção pesada foi acrescentada à linha de costa de 1971 uma largura de 30 ou 60 vezes a taxa de erosão anual, respectivamente. Apesar de não existirem construções pesadas na área investigada, as duas situações foram testadas. Desse modo, foi avaliada a capacidade de proteção das faixas frente aos cenários erosivos caso tivessem sido implementadas na linha de costa em 1971.

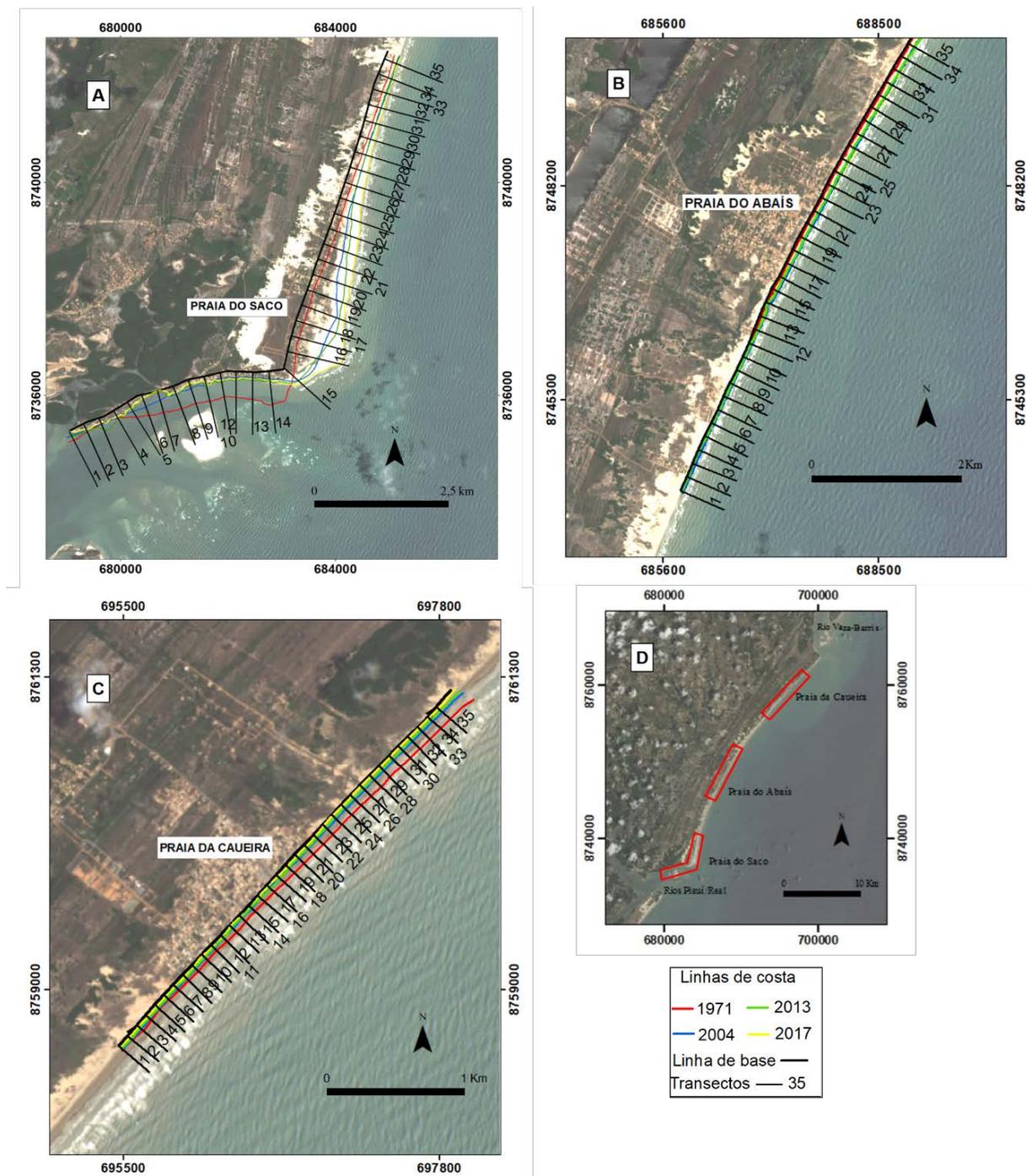
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Análise histórica e comportamento da linha de costa**

A análise histórica da linha de costa das praias investigadas mostrou maior variação na praia do Saco e menor variação nas praias do Abaís e da Caueira (Figura 3). A figura 4 apresenta os dados de taxa de variação e da movimentação da linha de costa das praias do Saco, do Abaís e da Caueira nos períodos de 1971 a 2004, de 2004 a 2013, de 2013 a 2017 e para o período total de análise, de 1971 a 2017.

Na praia do Saco (Figura 4A), no período total, de 1971 a 2017, predominaram taxas negativas no setor estuarino e taxas positivas no setor oceânico. No setor estuarino, apesar de

predominar taxas negativas, com valor médio de  $-5,6$  m/ano, as taxas positivas tiveram valores maiores, média de  $+13,5$  m/ano. Estas taxas provocaram recuo e avanço médio de  $-259,4$  e  $+215,7$  m, respectivamente. No setor oceânico, a taxa média de acreção foi de  $+7,3$  m/ano, com avanço médio de  $+335,3$  m. Ao longo dos períodos de 1971-2004, 2004-2013 e 2013-2017, o valor médio das taxas negativas no setor estuarino não variou muito, mantendo-se em torno de  $-8$  m/ano. No entanto, no período mais recente e de curto prazo (quatro anos) foram verificadas as taxas negativas e positivas com maiores valores mínimo e máximo de todos os períodos estudados. Em quatro anos ocorreu



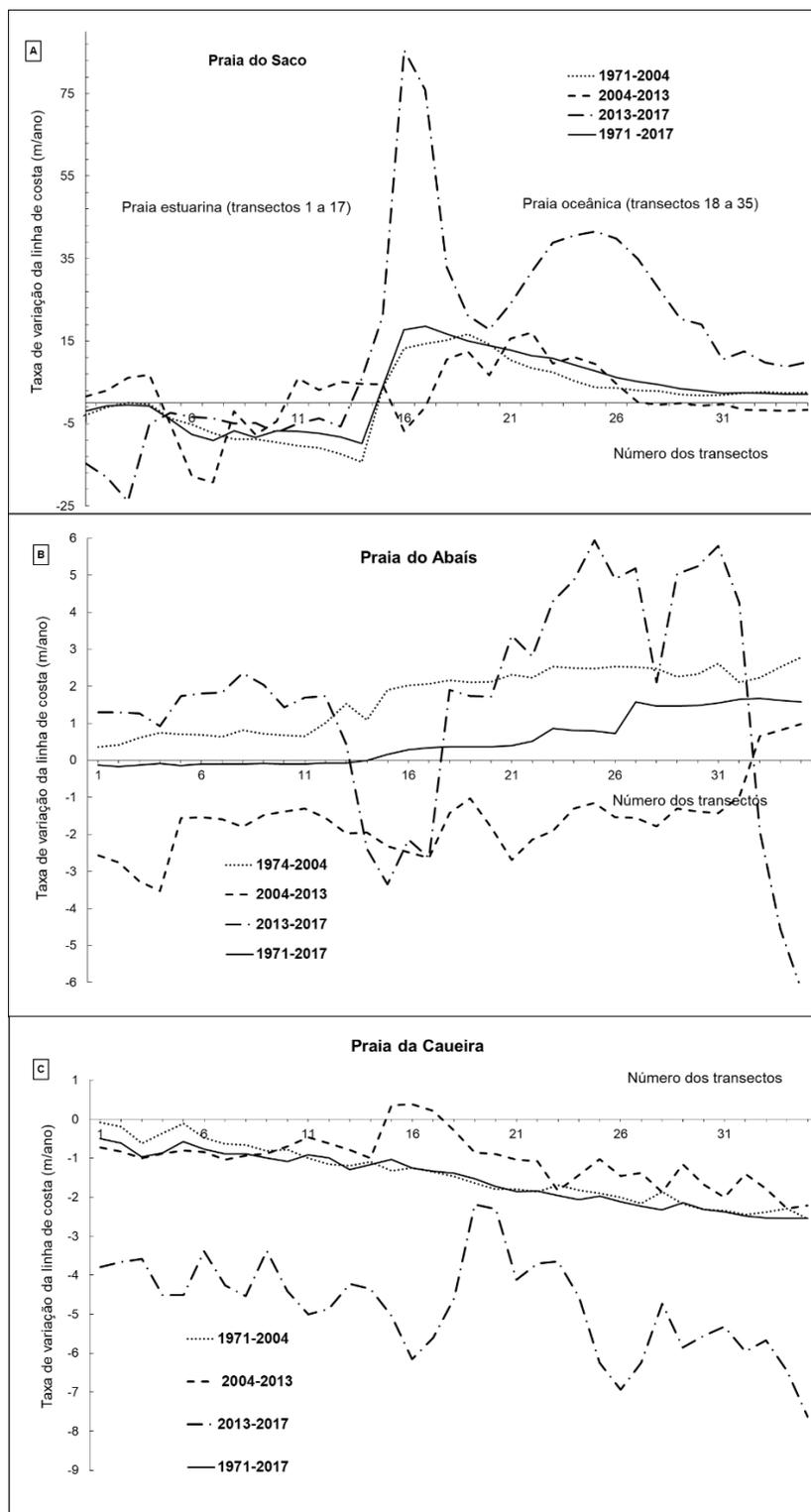
**Figura 3** - Linhas de costa multitemporais (1971, 2004, 2013 e 2017). (A) Praia do Saco; (B) Praia do Abaís; (C) Praia da Caueira; (D) Localização das praias. Fonte: Imagem Sentinel2 de 7 de dezembro de 2017.

um recuo médio de  $-31,6$  m na praia estuarina e um avanço médio de  $+98,2$  a  $+188,4$  m, nas praias oceânica e estuarina.

Na praia do Abaís (Figura 4B), a análise do período total (1971 a 2017) mostrou que predominaram taxas de variação positivas. As taxas negativas foram baixas, variando entre  $-0,08$  e  $-0,17$  m/ano. No entanto, estas taxas provocaram recuo da linha de costa entre  $-3,7$  e  $-7,8$  m. Ao contrário do período de 2004 a 2013, com o predomínio de taxas negativas, nos períodos de 1971-2004 e 2013-2017 preponderou a tendência geral de taxas positivas. No

entanto, foi no período mais recente e de curto prazo (quatro anos) que foram verificadas as taxas negativas e positivas com maiores valores mínimo, máximo e médio de todos os períodos estudados. A linha de costa recuou entre  $-7,7$  e  $-24,7$  m em apenas 4 anos.

Para a praia da Caueira (Figura 4C), a análise de todo período (1971 a 2017) mostrou que toda a linha de costa obteve taxas negativas, variando de  $-0,5$  a  $-2,6$  m/ano, com recuos de até  $-117,3$  m. Esta tendência geral de predomínio de taxas negativas foi verificada para todos os períodos (1971 a 2004, 2004 a 2013 e 2013 a 2017). No



**Figura 4**– Taxa de variação da linha de costa da linha de costa. (A) Praia do Saco (estuarina - transectos de 1 a 17 e oceânica – transectos 18 a 35); (B) Praia do Abaís (oceânica); (C) Praia da Caueira (oceânica). As maiores taxas, de erosão e de acreção ocorrem, respectivamente, no setor estuarino e no setor oceânico da praia do Saco. O sentido do transporte longitudinal é predominantemente do transecto 35 para o transecto 1 em todas as praias.

período mais recente e de curto prazo (quatro anos) foram observadas taxas negativas com os maiores valores mínimo (-2,2 m/ano) e máximo (-7,6 m/ano) de todos os períodos analisados. A linha de costa recuou em média -19,1 m em apenas 4 anos.

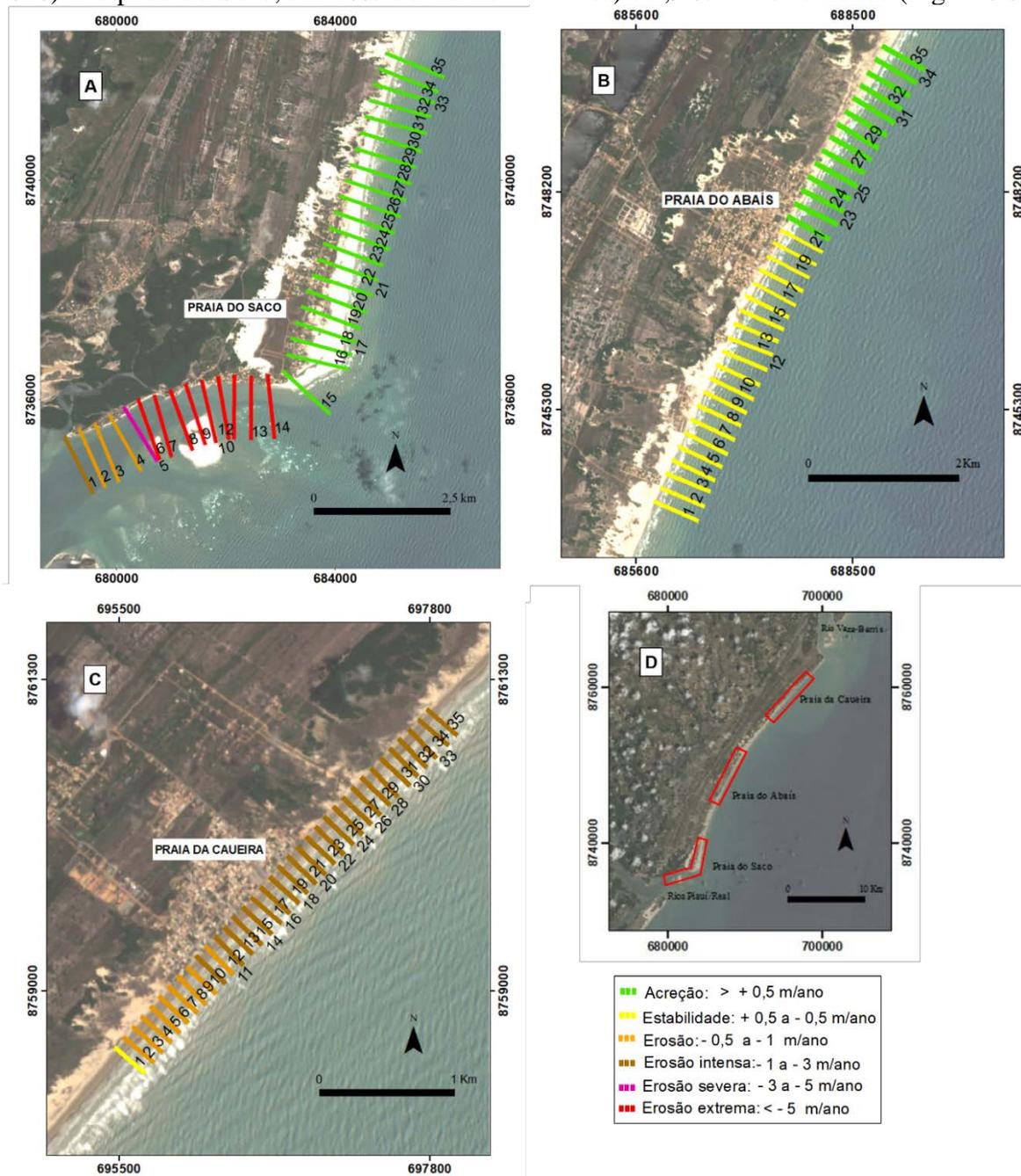
Alguns valores das taxas de recuo expostos nas três praias investigadas foram inferiores a

-10 m/ano, sendo compatíveis com os valores observados em praias arenosas do Brasil e do mundo (Dolan et al., 1991; Crowell et al., 1993; Andrade & Dominguez, 2008; Hapke et al., 2009; Mazzer & Dillenburg, 2009; Ford, 2013; Oyedotun, 2014). Adicionalmente, os valores das taxas de recuo corroboraram o estudo de Luijendijk et al. (2018), no qual praias arenosas

em erosão no mundo apresentam taxas superiores a  $-0,5$  m/ano. Valores acima de  $-10$  m/ano foram verificados no setor sul da praia do Saco, que constitui uma praia estuarina. Estes valores foram equivalentes àqueles reportados para linhas de costas de desembocaduras fluviais ou canais de marés em Kuleli (2010), Traini et al. (2012), Hoang et al. (2015) e Jesus & Andrade (2018).

O comportamento da linha de costa (1971 a 2017) foi baseado na taxa de variação da linha de costa, conforme a classificação de Luijendijk et al. (2018). Na praia do Saco, em 40% do trecho

estudado ocorreu erosão e, em 60%, acreção. O comportamento erosivo englobou as categorias erosão (8,6 %), erosão intensa (2,9 %), erosão severa (2,9 %) e erosão extrema (25,6 %). A erosão predominou no setor estuarino (cerca de 82% deste setor), enquanto a acreção compreendeu todo o setor oceânico desta praia (Figura 5A). A praia do Abaís apresentou comportamento de estabilidade e de acreção em 60,0% e 40,0% do trecho estudado, respectivamente (Figura 5B). Na praia da Caueira, 97,1% do trecho estudado foi de erosão (erosão e erosão intensa) e 2,9 % de estabilidade (Figura 5C).



**Figura 5** - Comportamento da linha de costa, segundo a classificação de Luijendijk et al. (2018). (A) Praia do Saco (estuarina - transectos de 1 a 17 e oceânica - transectos 17 a 35); (B) Praia do Abaís (oceânica); (C) Praia da Caueira (oceânica); (D) Localização das praias. O sentido do transporte longitudinal é predominantemente de NE para SW. Fonte: Imagem Sentinel2 de 7 de dezembro de 2017.

No geral, o comportamento da linha de costa (1971 a 2017) nas três praias investigadas mostrou um certo equilíbrio entre setores em erosão (45,7 %) e em estabilidade-acreção (54,3 %). Comparando-se ao resultado obtido por Luijendijk et al. (2018), o percentual em erosão (45,7 %) foi superior ao encontrado em praias arenosas do mundo (24%). A escolha de setores com maior ocupação humana, e não toda a extensão da linha de costa do sul de Sergipe, e a escala-resolução dos estudos podem ter contribuído para a discrepância entre os percentuais.

No período de 1971 a 2017 (46 anos, médio prazo), a linha de costa recuou entre -25,8 e -459,9 m na praia do Saco e entre -23,0 e -459,9 m na praia da Caueira. Este recuo provocou a destruição parcial ou total de estruturas antrópicas (casas, recreação e lazer, bares e restaurantes). Apesar da praia do Abaís não ter tido trechos classificados como em erosão, estruturas antrópicas também foram danificadas no período investigado. Isto ocorreu pois, de acordo com a classificação de Luijendijk et al. (2018), taxas erosivas inferiores a -0,5 m/ano são classificadas como de estabilidade. No entanto, no período de 46 anos (médio prazo), as taxas de erosão com valores entre -0,08 e -0,17 m/ano

promoveram recuos entre -3,7 m e -7,8 m, respectivamente. Em alguns trechos, os recuos foram suficientes para provocar danos nas estruturas antrópicas (e.g. calçadão e praça de eventos) situadas na retaguarda da praia.

As estruturas antrópicas presentes nas três praias investigadas estão parcialmente ou totalmente danificadas em decorrência da erosão costeira pretérita e/ou atual. O caso mais grave de erosão costeira ocorreu e, ainda ocorre, na praia do Saco (setor estuarino), que apresentou trechos com erosão extrema. Algumas edificações foram danificadas ou estão ameaçadas. As estruturas de contenção, instaladas na tentativa de proteger as construções antrópicas, provocaram o desaparecimento de alguns trechos das praias, mesmo na maré baixa de sizígia. O pós-praia em muitos casos se tornou muito estreito ou inexistente, mesmo na maré baixa de sizígia. As figuras 6, 7 e 8 exemplificam algumas das situações expostas.

As causas naturais e antrópicas da acreção e da erosão costeira estão sempre relacionadas com o balanço sedimentar, positivo e negativo, respectivamente. Nas praias do Saco e do Abaís, os trechos em recuo se situam à sotamar dos trechos em acreção. Na praia da Caueira, as o recuo foi menor à sotamar.



**Figura 6** - Erosão costeira na praia estuarina (sul da praia do Saco). (A) Estrutura de contenção para proteção de residências (28 de outubro de 2007, maré baixa de sizígia); (B) Destroços de estruturas antrópicas (07 de novembro de 2011, maré baixa de quadratura); (C) Estrutura de contenção (espigão de rocha) em 26 de maio 2017, na maré baixa de sizígia; (D) Presença de estrutura de contenção próxima à igreja, que constitui um patrimônio histórico (26 de setembro de 2018, maré alta de sizígia). Trechos sem praia, independente da maré, em (A), (B) e (D). Para localização, (A), (B), (C) e (D) correspondem, respectivamente, aos transectos 13, 9, 15 e 10 da figura 3A. Fonte: Arquivo LACMA.



**Figura 7** - Erosão costeira na praia do Abaís. (A) e (B) Estruturas antrópicas parcialmente danificadas e pós-praia (praia seca) inexistente (07 de novembro de 2011, maré baixa de quadratura); (C) Estruturas antrópicas parcialmente danificadas e pós-praia estreita (26 de setembro de 2018, maré baixa de sizígia); (D) Evidências de recuperação natural da praia mostrando pós-praia largo (26 de setembro de 2018, maré baixa de sizígia). Para localização, (A), (B), (C) e (D) correspondem, respectivamente, aos transectos 19, 18, 19 e 17 da figura 3B. Fonte: Arquivo LACMA.



**Figura 8** - Erosão costeira na praia da Caueira. (A) Escarpa erosiva no aterro e destroços de estruturas antrópicas (07 de novembro de 2011, maré baixa de quadratura); (B) Destroços de estruturas antrópicas (07 de novembro de 2011, maré baixa de quadratura); (C) Estruturas de contenção em 26 de setembro de 2018, na maré alta de sizígia; (D) Passarela de acesso à praia com placa de indicação de perigo – “não tomar banho em maré alta” (26 de setembro de 2018, maré alta de sizígia). Inexistência de pós-praia (praia seca) em (A), (B), (C) e (D). Em (C) e (D), a praia desapareceu na maré alta de sizígia. Para localização, (A), (B) e (D) correspondem ao transecto 18 e (C) ao transecto 19 da figura 3C. Fonte: Arquivo LACMA.

Na praia do Abaís, a acreção à barlamar provavelmente acarretou *déficit* de sedimentos à sotamar. Na praia da Caueira, a diminuição do valor do recuo à sotamar indica, provavelmente,

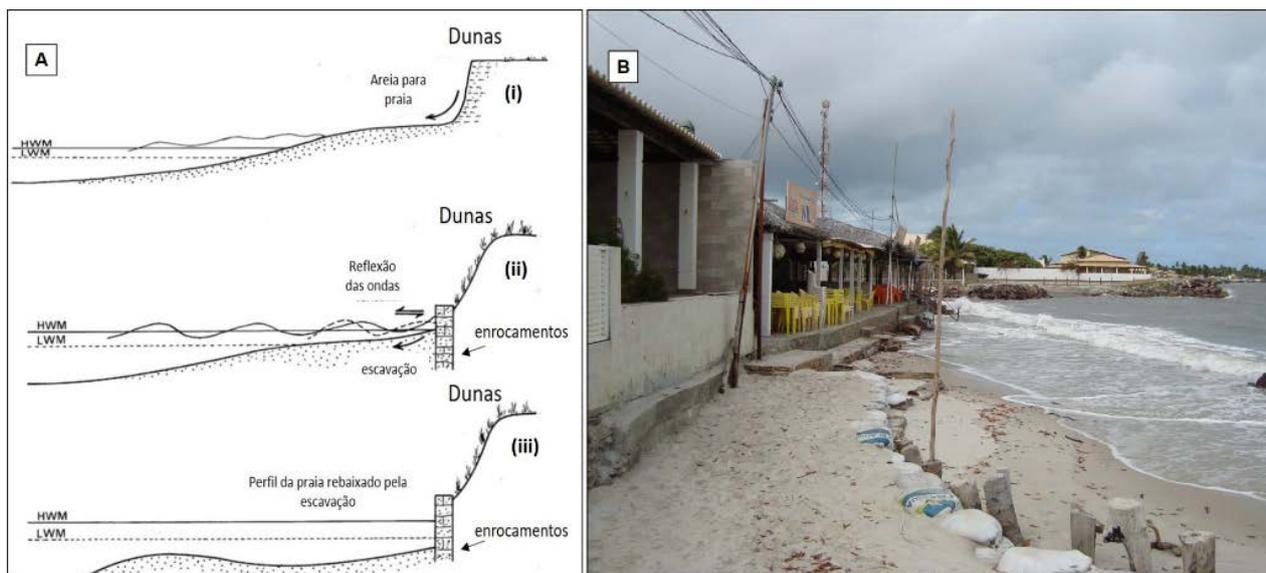
redução na intensidade do transporte de sedimentos. Estas interpretações para as duas praias oceânicas não corroboram o trabalho de Oliveira (2003), no qual a divergência no sentido

do transporte longitudinal de sedimentos foi atribuída como a causa da erosão costeira.

Por outro lado, a acreção no setor oceânico e o recuo no setor estuarino da praia do Saco estão provavelmente relacionados à dinâmica do canal fluvial e das barras arenosas de desembocadura. Esta interpretação corrobora as ideias de Oliveira (2003); Bittencourt et al. (2006) e Dominguez et al. (2018).

Adicionalmente, para proteger as construções antrópicas, estruturas de contenção foram instaladas nessas praias. No entanto, a presença

de estruturas de contenção paralela à costa pode provocar a reflexão de ondas e intensificar o processo de erosão. As estruturas de contenção constituídas por blocos soltos, como na área investigada, permitem que parte da energia das ondas seja absorvida e parte refletida. A ação contínua da reflexão de ondas, que provoca a remoção de sedimentos e o rebaixamento do nível da praia (Bird, 2008), pode não permitir a recuperação natural da praia. Com isso, a praia pode desaparecer por completo, como ocorreu na maior parte estuarina da praia do Saco (Figura 9).



**Figura 9** – Erosão costeira intensificada pela reflexão de ondas. (A) Desenho esquemático da evolução de uma praia bordejada por dunas: (i) As dunas constituem estoques de sedimentos para a praia, principalmente, em situações de erosão, (ii) A estabilização da linha de costa em recuo com enrocamentos de rocha permite que parte da energia das ondas seja absorvida e parte refletida. A reflexão de ondas provoca remoção de sedimentos da base da estrutura. A presença de estruturas de contenção impede o aporte de sedimentos da duna para a praia em cenários erosivos, e (iii) A ação contínua da reflexão de ondas, com a remoção de sedimentos da praia, provoca o rebaixamento do nível da praia impedindo sua recuperação natural; (B) A praia pode desaparecer por completo, independente do estágio da maré, como ocorreu em trechos da praia do Saco (26 de setembro de 2018, maré alta de sizígia). Para localização, (B) corresponde ao transecto 11 da figura 3A. Fonte: (A) Figura modificada de Bird (2008) e (B) Arquivo LACMA.

As linhas de costa das praias do Saco, do Abaís e da Caueira são bordejadas dunas eólicas. Este material constitui estoque sedimentar para a praia e para a linha de costa em períodos de *déficit* sedimentar, permitindo a sua recuperação natural. A erosão nas praias de Abaís e da Caueira aparenta não ser permanente, assim as praias podem se recuperar naturalmente. A presença de pós-praia largo na praia do Abaís, em 2018, foi um indicativo da sua recuperação natural (Figura 7D).

O setor estuarino da praia do Saco tem apresentado um caráter erosivo mais intenso e permanente. Assim como a praia do Saco, a praia dos Artistas, em Aracaju, consiste em uma praia estuarina, sob influência da dinâmica do canal do rio Sergipe e de barras arenosas de desembo-

cadura. A linha de costa, também fixada por estruturas de contenção, recuperou-se naturalmente (Jesus & Andrade, 2018). Diante do exposto, a erosão pode ser revertida ao longo do tempo, sem a necessidade de novas intervenções de obras de engenharia.

As estruturas rígidas alteram a dinâmica costeira e podem intensificar e/ou transferir a erosão para as linhas de costa adjacentes. Além disso, a presença destas estruturas pode afetar a beleza natural das praias e/ou causar o seu desaparecimento. Nas praias investigadas, os pós-praias estreitos ou inexistentes impedem o seu uso para recreação e lazer, constituindo assim um conflito de uso, já que a maior vocação do litoral sul de Sergipe é o turismo (Jornal da Cidade, 2018).

## **Eficiência do uso de faixas de recuo**

Conforme mencionado anteriormente, as larguras das faixas de recuo, para construções leve ou pesada, foram obtidas pela multiplicação da taxa de variação da linha de costa por 30 ou 60, respectivamente. Para construção leve, as larguras das faixas variaram de 16,7 a 296,8 m na praia do Saco, de 2,4 a 5,1 m na praia do Abaís e de 15,0 a 76,5 m na praia da Caueira. Para construção pesada, as larguras das faixas variaram de 33,4 a 593,6 m, 4,8 a 10,2 m e 30,0 a 153,0 m nas praias do Saco, do Abaís e da Caueira, respectivamente. Os valores das larguras das faixas para construções leves e construções pesadas foram inferiores e superiores, respectivamente, aos valores de recuos, pois o estudo foi de médio prazo (46 anos). A análise da eficiência das faixas de recuo para construção pesada mostrou que, se tivessem sido implementadas em 1971, muitos dos danos às estruturas antrópicas teriam sido evitados. No entanto, a metodologia adotada na Carolina do Norte por Cicin-Sain & Knecht (1998, segundo Muehe, 2001) é inadequada por não considerar o tempo de análise (curto, médio ou longo prazo), apesar de eficaz no caso de construções pesadas.

Na ausência de outras informações importantes (e.g. eventos de tempestade, nível do mar etc.), o melhor a se fazer é utilizar a taxa de variação da linha de costa verificada em cada localidade multiplicada pelo valor de anos a ser projetado, como proposto em um cenário mais simples por Ferreira et al. (2006). Com isso, não ocorrerá sub- ou superdimensionamento da largura das faixas, como ocorreu no caso da aplicação da metodologia de Cicin-Sain &

Knecht (1998, segundo Muehe, 2001).

No entanto, o uso de faixas de recuo pode ter entraves no seu estabelecimento, principalmente em áreas com potencial turístico e em franca ocupação, como é o caso das praias em questão. Em áreas com elevada variabilidade morfológica, a exemplo da praia do Saco (setor estuarino), a largura da faixa de recuo pode atingir valores muito elevados. Segundo Sanó et al. (2011) e Jongejan et al. (2016), uma faixa de recuo muito extensa pode implicar na desvalorização econômica dos terrenos localizados à beira mar. Em contrapartida, é importante destacar que o turismo ocorre em função do uso recreativo das praias. Conforme mencionado anteriormente, estruturas rígidas podem intensificar a erosão e provocar o desaparecimento das praias, constituindo assim um conflito de uso. Sem praia, a atividade turística diminuirá. Adicionalmente, a implementação de faixas de recuo favorecerá o não desaparecimento da praia; apenas o seu deslocamento no sentido do continente e a manutenção do uso recreativo da praia.

As faixas de recuo devem ser consideradas, mesmo em áreas já ocupadas por construção leves, a exemplo das praias investigadas. Jesus & Andrade (2018) consideraram que devem ser evitados quaisquer tipos de novas construções em áreas de elevada variabilidade morfológica e que devem ser criadas faixas de recuo para esses locais. Além disso, as faixas podem servir como estratégias de monitoramento de curto, médio e longo prazo, segundo o Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa - PROCOSTA (Lima et al., 2018).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho forneceu, de forma quantitativa e qualitativa, a análise da variação e do comportamento de praias arenosas estuarina e oceânicas do sul do estado de Sergipe. A maior variação na configuração da linha de costa ocorreu na praia do Saco, sujeita a interação de ondas, correntes, marés e descarga fluvial.

Os valores das taxas de variação da linha de costa nas três praias investigadas foram na mesma escala de grandeza daqueles valores encontrados em praias arenosas oceânicas e estuarinas do Brasil e do mundo. Os valores mais elevados de taxas erosivas ocorreram no setor estuarino da praia do Saco, enquanto os menores valores ocorreram nas praias oceânicas (Abaís e

Caueira).

O período de análise, de médio prazo (46 anos), utilizou apenas quatro linhas de costa (1971, 2004, 2013 e 2017). A análise em intervalos de tempo menores (1971 a 2004, 2004 a 2013 e 2013 a 2017) mostrou que ocorreu predominantemente um aumento nas taxas, negativas e/ou positivas, de variação da linha de costa nas praias estuarina e oceânicas.

O comportamento da linha de costa nas três praias investigadas, localidades com maior ocupação no litoral sul de Sergipe, foi de erosão (45,7 %) e acreção-estabilidade (54,3 %). A acreção e a estabilidade predominaram nas praias oceânicas (porção norte da praia do Saco e praia

do Abaís). O comportamento erosivo da linha de costa ocorreu em 82,4 % da praia estuarina e em 38,6 % das praias oceânicas. Na praia estuarina (Saco), a erosão englobou as categorias intensa, severa e extrema, enquanto na praia oceânica da Caueira, erosão e erosão intensa. O percentual erosivo (45,7%) foi superior ao encontrado em praias arenosas do mundo sob recuo, que foi de 24%, podendo ser explicado pelas diferenças metodológicas das pesquisas. Mesmo assim, foi possível comparar os dados da taxa de variação da linha de costa e classificar o comportamento da área investigada (cenário local), com base no que foi visto no cenário mundial.

Por outro lado, quando o tempo de análise é de médio prazo, como nesse estudo (46 anos), taxas erosivas inferiores a -0,5 m/ano podem criar uma falsa percepção de “estabilidade” com a classificação utilizada nesse trabalho. Este fato foi verificado em trechos classificados como em estabilidade (taxa de variação negativa) da praia do Abaís, cujos recuos foram suficientes para causar danos nas estruturas antrópicas posicionadas na retaguarda da praia. Em estudos de médio prazo, é necessário se considerar o valor de recuo em metros. Sendo assim, recomenda-se considerar, em estudos de médio prazo, como estabilidade apenas os valores positivos, de 0 a +0,5 m/ano.

Algumas estruturas de contenção para proteção de residências foram instaladas nas praias investigadas em recuo e, mesmo assim, o processo de erosão não cessou. As praias utilizadas para o turismo de recreação e lazer perderam, em alguns trechos ou em determinados momentos, essa função devido ao desaparecimento da praia, independente do estágio da maré. Além disso, a presença de estruturas de contenção pode interferir na beleza natural da região, afetando o turismo.

O recuo da linha de costa nas praias oceânicas está relacionado ao balanço sedimentar, como resultado da acreção à barlavento e *déficit* de sedimentos à sotamar ou alteração na intensidade do transporte de sedimentos. Na praia do Saco, a acreção no setor oceânico e a erosão no setor estuarino estão relacionadas à complexa dinâmica do canal fluvial e das barras arenosas de desembocadura, conforme reportado na literatura.

Os depósitos sedimentares inconsolidados da planície costeira, a exemplo das dunas eólicas bordejando as praias investigadas, constituem

estoque sedimentar para a praia e para a linha de costa em períodos de *déficit* sedimentar, permitindo a sua recuperação natural. As estruturas rígidas alteram a dinâmica costeira e podem intensificar e/ou transferir a erosão para as linhas de costa adjacentes. A recuperação natural de praias pode ocorrer sem a necessidade de novas intervenções de obras de engenharia, como verificado na praia do Abaís e na praia dos Artistas, em Aracaju.

Os métodos alternativos e protetivos, a exemplo de faixas de recuo, devem ser considerados em zonas costeiras sem ou com pouca ocupação antrópica, como é o caso da área estudada. Nesse trabalho, as faixas de proteção foram avaliadas e validadas (ou não) para o período de investigação (1971 a 2017), antes da sua indicação como medidas protetivas para absorver as mudanças futuras da linha de costa.

A metodologia empregada nesse trabalho, com o uso apenas da taxa de recuo da linha de costa e de valores arbitrários para construções leves e pesadas, foi inadequada por não considerar o tempo de análise (curto, médio ou longo prazo). Na ausência de outras informações importantes (e.g. eventos de tempestade, nível do mar etc.), o melhor a se fazer é utilizar somente a taxa de variação da linha de costa verificada em cada localidade multiplicada pelo valor de anos a ser projetado. Com isso, não ocorrerá sub- ou superdimensionamento da largura das faixas, prejudicando a sua eficácia ou dificultando a sua implementação. Isso demonstra que um método simples pode ser usado com sucesso em áreas com poucos dados e com poucos recursos tecnológicos para a realização de simulações numéricas.

Por fim, para projetar as faixas de recuo para o futuro, é necessário ter como premissa que as taxas permanecerão as mesmas, sem considerar outros fatores como elevação do nível do mar, intensificação de tempestades etc. A implementação de faixas de recuo favorecerá o não desaparecimento da praia, apenas o seu deslocamento no sentido do continente. Com isso, o uso recreativo será mantido e as estruturas antrópicas serão protegidas.

Os cenários apresentados neste trabalho podem se modificar no tempo e no espaço, caso as projeções futuras de elevação do nível do mar, devido às mudanças climáticas globais, se concretizem. Com isso, poderá haver mudanças

nas taxas e nos comportamentos apresentados pela linha de costa. Sendo assim, o monitoramento contínuo com a atualização constante dos dados é necessário. Este trabalho

serve de subsídios ao planejamento ambiental, de forma a nortear as ações dos gestores públicos para o planejamento futuro da ocupação humana da área investigada.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem: ao Laboratório de Petrologia Aplicada a Pesquisa Mineral (LAPA) por disponibilizar a licença do programa ArcGIS 10.2; à Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia de Sergipe-SEPLANTEC por disponibilizar as fotografias aéreas de 1971 e de 2004, ao Ministério do Meio Ambiente por disponibilizar acesso às imagens Rapideye de 2013, ao Editor Norberto Morales e aos revisores anônimos.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A.C.S. & DOMINGUEZ, J.M.L. O fenômeno de erosão costeira na região de Caravelas, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43, 2006, Aracaju. **Coletânea de Trabalhos Completos...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008. p. 241-244.
- ANGULO, R.J.; SOARES, C.R.; MARONE, E.; SOUZA, M.C.; ODRSKI, L.L.R.; NOERNBERG, M.A. Paraná. In: MUEHE, D. (Coordenador), **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 347-400, 2006.
- BIJLSMA, L. Climate change and the management of coastal resources. **Climate Research**, v. 9, n. 29, p. 47-56, 1997.
- BIRD, E. (Coord.). **Coastal geomorphology: an introduction**. New York: John Wiley & Sons, 434p, 2008.
- BIRD, E.C.F. (Coordenador). **Coastline changes: a global review**. New York: Chichester J. Wiley, 219 p., 1985.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.M.L.; OLIVEIRA, M.B. Sergipe. In: MUEHE, D. (Coordenador), **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 213-218, 2006.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FERREIRA, Y.A. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 2, n. 13, p. 93-97, 1983.
- BOAK, E.H. & TURNER, I.L. Shoreline definition and detection: a review. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.
- CHAABAN, F.; DARWISHE, H.; BATTIAU-QUENEY, Y.; LOUCHE, B.; MASSON, E.; EL KHATTABI, J.; CARLIER, E. Using ArcGIS Modelbuilder and aerial photographs to measure coastline retreat and advance: North of France. **Journal of Coastal Research**, v. 28, n. 6, p. 1567-1579, 2012.
- CICIN-SAIN, B. & KNETCH, R.W. **Gestão integrada costeira e oceânica: conceitos e práticas**. Island Press, 1998.
- CLIMATE DATA. **Dados climáticos para as cidades mundiais. Sergipe**. Disp. em: <https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/sergipe-213>. Acessado em: 11mai2020.
- CROWELL, M.; LEATHERMAN, S.P.; BUCKEY, M. K. Shoreline change rate analysis: long term versus short-term data. **Shore and Beach**, v. 61, n.1, p. 13-20, 1993.
- DNH - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Banco Nacional de Dados Oceanográficos - Marinha do Brasil. Tábua de maré 2018. Terminal Marítimo Inácio Barbosa, Sergipe**. Disp. em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acessado em: 09fev2018.
- DOLAN, R.; FENSTER, M.S.; HOLME, S.J. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. **Journal of Coastal Research**, v. 3, n. 7, p. 723-744, 1991.
- DOMINGUEZ, J.M.L.; GUIMARÃES, J.K.; BITTENCOURT, A.C.S.P. Alagoas, Sergipe e Bahia. In: MUEHE, D. (Coordenador), **Panorama da Erosão Costeira no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 341-432, 2018.
- FERREIRA, O.; GARCIA, T.; MATIAS, A.; TABORDA, R.; DIAS, J.A. An integrated method for the determination of setbacklines for coastal erosion hazards on sandy shores. **Continental Shelf Research**, v. 1, n. 26, p. 1030-1044, 2006.
- FITZGERALD, D.M. Interactions between the ebb-tidal-delta and landward shoreline price inlet, South Carolina. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 4, n. 54, p. 1303-1318, 1984.
- FORD, M. Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high-resolution satellite images: Wotje atoll, Marshall Islands. **Remote Sensing of Environment**, v. 2, n. 135, p. 130-140, 2013.
- GOBLE, B.J. & MACKAY, C.F. Developing risk set-back lines for coastal protection using shoreline change and climate variability factor. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, n. 65, p. 2125-2130, 2013.
- HANSOM, J.D. People and coasts. In: HANSOM, J.D. (Coord), **Coasts**. Cambridge: Cambridge University, p. 77-92, 1988.
- HAPKE, C.J.; REID, D.; RICHMOND, B. Rates and trends of coastal change in California and the regional behavior of the beach and cliff system. **Journal of Coastal Research**, v. 25, n. 3, p. 603-615, 2009.
- HOANG, V.C.; THANH, T.M.; VIET, T.N.; TANAKA, H. Shoreline change at the Da Rang river mouth, Vietnam. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ESTUARIES AND COASTS, 5, 2015, Omam. **Proceedings...** Omam: Sultan Qaboos University, 2015, p. 312-318.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2018: the physical science basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel**. Cambridge: Cambridge University Press. 243p., 2018.
- JESUS, L.V. & ANDRADE, A.C.S. Taxas de variação da linha de costa e faixas de proteção nas áreas contíguas à desembocadura do rio Sergipe, Aracaju, Sergipe. **Pesquisas em Geociências**, v. 45, n.3, p. 1-17, 2018.
- JONAH, F.E.; BOATENG, I.; OSMAN, A.; SHIMBA, M.J.; MENSAH, E.A.; ADU-BOAHEN.; CHUKU, E.O.; EFFAH, E. Shoreline change analysis using end point rate and net shoreline movement statistics: an application to Elmina, Cape Coast and Moree section of Ghana's coast. **Regional Studies in Marine Science**, v. 7, n. 9, p. 19-31, 2016.
- JONGEJAN, R.; RANASINGHE, R.; WAINWRIGHT, D.; CALLAGHAN, D.; REYNS, J. Drawing the line on coastline recession risk. **Ocean & Coastal Management**, v. 122, p. 87-94, 2016.
- JORNAL DA CIDADE – TURISMO. O saco é a melhor opção de praia de Sergipe e já tem destaque internacional. Disp. em: <http://www.jornaldacidade.net/turismo/2018/09/303403/o-saco-e-a-melhor-opcao-de-praia-de-sergipe-e-ja-tem-destaqu.html>. Acessado em: 12out2020.
- KOMAR, P.D.; MARRA, J.J.; ALLAN, J.C. Coastal-erosion

- processes and assessments of setback distances. In: COASTAL ENGINEERING CONFERENCE, 28, 2002, Wales, United Kingdom. **Proceedings...** United Kingdom: American Society of Civil Engineers, 2002, p. 808-822.
- KULELI, T. Quantitative analysis of shoreline changes at the Mediterranean coast in Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 1, n. 4, p. 387-397, 2010.
- LIMA, R.P.; COELHO, A.S.; AMORIM, S.M.; OLIVEIRA, D.P. (Coordenadores). **Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa - PROCOSTA**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 34p., 2018.
- LINHAM, M.M. & NICHOLLS, R.J. (Coordenadores). **Technologies for climate change adaptation: coastal erosion and flooding**. Rockslide: UNEP, 166 p., 2010.
- LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R., BAART, F.; GENNADII, D.; ARNINKHOF, S. The state of the world's beaches. **Scientific Reports-Nature**, v. 8, n. 6641, p. 1-11, 2018.
- MAHAPTRA, M.; RATHEESH, R.; RAJAWAT, A.S. Shoreline change analysis along the coast of South Gujarat, India, using digital shoreline analysis system. **Journal of Indian Society of Remote Sensing**, v. 4, n. 42, p. 869-876, 2014.
- MAZZER, A.M. & DILLENBURG, S. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da ilha de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. **Pesquisa em Geociências**, v. 36, n. 1, p. 117-135, 2009.
- MUEHE, D. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites de orla costeira para fins de gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 1, n. 2, p. 35-44, 2001.
- OLIVEIRA, M.B. **Caracterização integrada da linha de costa do estado de Sergipe – Brasil**. Salvador, 2003. 102p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- OYEDOTUN, T.D.T. Shoreline geometry: DSAS as a tool for historical trend analysis. In: Clarke, L.E. & Nield, J.M. (Coords), **Geomorphological Techniques (Online Edition)**. London: British Society for Geomorphology, cap. 3, section 2.2, p. 3-12, 2014.
- PAJAK, M.J. & LEATHERMAN, S. The high waterline as shoreline indicator. **Journal of Coastal Research**, v. 18, n. 2, p.329-337, 2002.
- PIANCA, C.; MAZINNI, P.L.F.; SIEGLE, E. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 1, n. 58, p. 53-70, 2010.
- PILKEY, O.H. Coastal erosion. **Episodes- International Geoscience Newsmagazine**, v 14, n. 1, p. 46-51, 1991.
- RAMOS, L.P.; ANDRADE, A.C.S.; NASCIMENTO, P.S.R.; SANTOS, J.P.S. Mapeamento geomorfológico da zona costeira sul do Sergipe, nordeste do Brasil. **Pesquisas em Geociências**. V.48, n.3, 107654. 2021.
- SABATIER, F.; SAMAT, O.; BRUNEL, C.; HEURTEFEUX, H.; SABATIER-DELANGHE, D. Determination of setback lines on eroding coasts. Example of the beaches of the Gulf of Lions (French Mediterranean Coast). **Journal of Coastal Conservation**, v. 3, n. 13, p. 57-64, 2009.
- SANÓ, M.; JIMÉNEZ, J.A.; MEDINA, R.; STANICA, A.; SANCHEZ-ARCILLA, A.; TRUMBIC, I. The role of coastal setback in the context of coastal erosion and climate change. **Ocean and Coastal Management**, v.3, n. 54, p. 943-950, 2011.
- SEMARH - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Atlas Digital Sobre Recursos Hídricos de Sergipe (versão 2012)**. Disp. em: [https://www.semarh.se.gov.br/recursos\\_hidricos/?page\\_id=486](https://www.semarh.se.gov.br/recursos_hidricos/?page_id=486). Acessado em: 10abr2018.
- SHEEJA, P.S & AJAY GOKUL, A. J. Application of Digital Shoreline Analysis System in coastal erosion assessment. **International Journal of Engineering Science and Computing**, v. 6, n. 6, p. 7876-7883, 2016.
- SHOSHANY, M. & DEGANI, A. Shoreline detection by image processing of aerial photography. **Journal of Coastal Research**, v. 8, n. 1, p. 29-34, 1992.
- SIMPSON, M.C.; MERCER CLARKE, C.S.L.; CLARKE, J.D.; SCOTT, D.; CLARKE, A.J. (Coords). **Coastal setbacks in Latin American and Caribbean: a study of emerging issues and trends that inform guidelines for coastal planning and development**. Washington, D.C: Inter-American Development Bank, 175 p., 2012.
- THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. (Coords). **The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change**. Woods Hole: US Geological Survey Report, nº 2008-1278, 79 p., 2009.
- TRAINI, C.; SCHROTTKE, K.; STRATTEGGER, K.; DOMINGUEZ, J.M.L.; GUIMARÃES, J.K.; VITAL, H.; BESERRA, D. D.; SILVA, A.G.A. Morphology of subaqueous dunes at mouth of the dammed river São Francisco (Brazil). **Journal of Coastal Research**, v. 6, n. 28, p. 1580-1590, 2012.
- WEELE, G.V.; BREETZKE, T.; KAMISH, R. (Coords). **Coastal management/setback lines for the West Coast District**. Western Cape: Department of Environmental Affairs & Development Planning, nº 00333, 81 p., 2010.

*Submetido em 4 de janeiro de 2021*

*Aceito para publicação em 30 de maio de 2021*