
CONTRIBUIÇÃO DA FERRAMENTA *DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM* NOS ESTUDOS DE DINÂMICA COSTEIRA NO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

Ana Leticia Barbosa **LEMOS**
Universidade Federal do Ceará
E-mail: analeticia.barbosa23@gmail.com

Carlos Henrique **SOPCHAKI**
Universidade Federal do Ceará
E-mail: carlos.geografia@ufc.br

Recebido
Maio de 2020

Aceito
Junho de 2020

Publicado
Julho 2020

RESUMO: Possuindo 573 km de linha de costa, o Estado do Ceará conta com 50,8% de sua população vivendo em ambientes costeiros. O litoral cearense atrai turistas brasileiros e estrangeiros, destacando-se os municípios de Fortaleza, Caucaia, Aquiraz, Aracati, Cascavel, Fortim, Icapuí, Camocim, Jijoca de Jericoacoara, entre outros. A dinâmica morfológica costeira é intensa, mas pode ser acelerada por processos antrópicos, como ocupação desordenada. Algumas localidades do litoral cearense já vêm sofrendo processos erosivos há décadas, ora com maior, ora com menor intensidade, fazendo com que a linha de costa (limite da preamar média, ou seja, linha do alcance das marés, a qual torna-se visível pela divisão entre sedimentos secos e molhados) migre de local, seja por processos de retrogradação ou progradação. Com o intuito de monitorar a evolução da linha de costa, o Serviço Geológico dos Estados Unidos desenvolveu a ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), como complemento do *software* ArcGIS. Tal ferramenta tem sido aplicada em diversas praias do litoral cearense, por distintos pesquisadores. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi o de elaborar uma análise histórica do uso da ferramenta DSAS nos estudos de variação da linha de costa dos municípios litorâneos do Ceará, mostrando sua funcionalidade na obtenção de resultados. Os resultados demonstraram que o DSAS está possibilitando cada vez mais a realização de diagnósticos e a compreensão das dinâmicas praias locais e apontaram também potencialidades, bem como fragilidades, como por exemplo a dificuldade de acesso a imagens de sensores remotos em resolução compatível com a metodologia.

Palavras-chave: Linha de costa. Geomorfologia Costeira. Processos erosivos. Sensoriamento Remoto.

CONTRIBUTION OF THE TOOL DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS) ON STUDIES OF COASTAL DYNAMICS IN THE STATE OF CEARÁ, BRAZIL

ABSTRACT: With 573 km of coastline, the state of Ceará has 50.8% of its population living in coastal environments. Ceará's coast attracts both Brazilian and foreign tourists, and the following municipalities stand out: Fortaleza, Caucaia, Aquiraz, Aracati, Cascavel, Fortim, Icapuí, Camocim, Jijoca de Jericoacoara, among others. The natural coastal morphological dynamics is intense, but often gets catalyzed by anthropogenic processes, like disorderly occupation. Some places of the Ceará coastal zone have been suffering by erosion processes for decades, sometimes with greater intensity, sometimes with less intensity, causing the coast line (limit of the medium high tide, that is, the range of the tides, which becomes visible by the division between dry and wet sediments) to migrate from place, either by retrogradation or progradation processes. In order to monitor the evolution of the coastline the United States Geological Survey developed a tool called Digital Shoreline Analysis System (DSAS), as a complement to ArcGIS software. This tool has been applied to several beaches on the coast of Ceará, by different researchers. Therefore, the objective of this research was to elaborate a historical analysis about the use of the DSAS tool in studies of variation of the coastline of the municipalities of Ceará, showing its functionality in obtaining results. The results showed that DSAS is increasingly enabling diagnoses and understanding of local beach dynamics and also pointed out potentials and weaknesses, such as the difficulty of accessing remote sensor images in a resolution compatible with the methodology.

Key words: Shoreline. Coastal Geomorphology. Erosive processes. Remote Sensing.

CONTRIBUCIÓN DE LA HERRAMIENTA *DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM* (DSAS) EN LOS ESTUDIOS DE DINÁMICA COSTERA EM EL ESTADO DE CEARÁ, BRASIL

RESUMEN: Con 573km de línea costera, el Estado de Ceará tiene el 50,8% de su población viviendo en ambientes costeros. La costa de Ceará atrae a turistas brasileños y extranjeros, destacando los municipios de Fortaleza, Caucaia, Aquiraz, Aracati, Cascavel, Fortim, Icapuí, Camocim, Jijoca de Jericoacoara, entre otros. La dinámica morfológica costera es intensa, pero puede ser acelerada por procesos antrópicos, como la ocupación desordenada. Algunas localidades en la costa de Ceará han sufrido procesos erosivos durante décadas, a veces con mayor intensidad, a veces con menos intensidad, haciendo que la línea costera (límite de pleamar media, o sea, el alcance de las mareas, que se hace visible por la división entre sedimentos secos y húmedos) migra desde el lugar, sea por procesos de retrogradación o de progradación. Para monitorear la evolución de la costa, el Servicio Geológico de los Estados Unidos desarrolló la herramienta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), como complemento del *software* ArcGIS. Esta herramienta ha sido aplicada a varias playas en la costa del Ceará, por diferentes investigadores. Así, el objetivo de este trabajo fue elaborar un análisis histórico del uso de la herramienta DSAS en los estudios de variación de línea costera de los municipios costeros de Ceará, mostrando su funcionalidad en la obtención de resultados. Los resultados mostraron que DSAS está permitiendo cada vez más el diagnóstico y la comprensión las dinámicas costeras locales y también señaló potenciales y debilidades, como la dificultad de acceder a imágenes de sensores remotos en una resolución compatible con la metodología.

Palabras llave: Línea costera. Geomorfología Costera. Procesos erosivos. Teledetección.

INTRODUÇÃO

O Estado do Ceará conta com 50,8% de sua população residindo em ambientes costeiros (IBGE, 2015). O turismo de sol e mar é considerado um dos setores mais importantes da economia cearense, visto que, a cada ano, milhares de turistas são atraídos pelo clima tropical de temperatura média de 28°C. Desse modo, o crescimento urbano acelerado e desordenado em direção às zonas costeiras tem contribuído fortemente para a antropização do litoral cearense, o que tem gerado diversos problemas ambientais, dentre eles a erosão costeira.

As zonas costeiras são ambientes altamente dinâmicos, formados através de ações gravitacionais, meteorológicas e oceanográficas, que permitem o acúmulo de sedimentos geologicamente recentes (datados do holoceno e pleistoceno) nas bordas dos continentes. Tais sedimentos são submetidos à ação de energias modeladoras (marés, ondas, ventos etc.) e assim, permitem a formação de diferentes componentes morfológicos, tais como faixa praial, campos de dunas, estuários, lagunas, entre outros (MEIRELES, 2012).

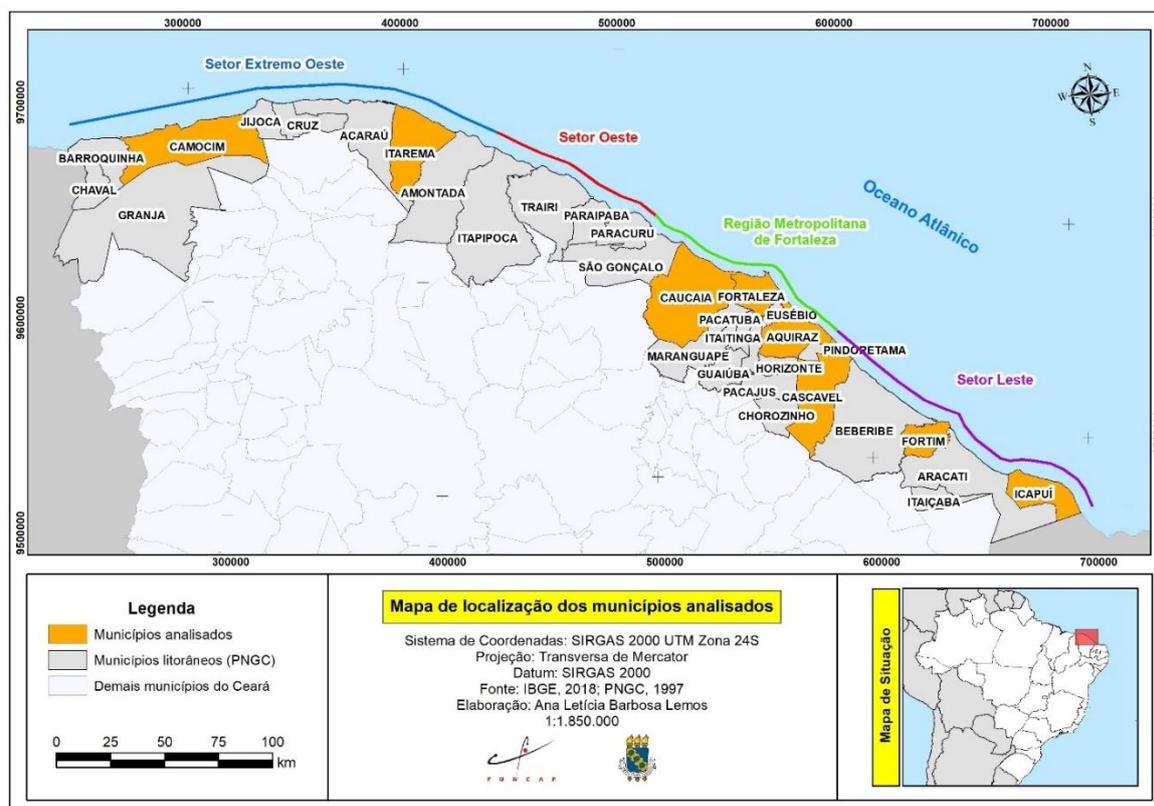
Com o crescimento urbano nas zonas costeiras, muitos desses componentes morfológicos sofrem intensas alterações (barramentos nos cursos fluviais, antropização de dunas frontais etc.), afetando diretamente a carga sedimentar que abastece a praia. Farias (2008) afirma que algumas atividades responsáveis pela modificação dos sistemas costeiros são realizadas em lugares distantes da costa, como a extração de areia e cascalho do leito dos rios e a construção de dragagens para abastecimento humano.

Segundo Meireles (2012), os processos erosivos na costa cearense também estão intrinsecamente relacionados às ações antrópicas associadas à ocupação de áreas de aporte de sedimentos que compõem a zona costeira, destacando-se os promontórios e margens estuarinas. Dessa forma, desde a metade do século XIX, diversas pesquisas acadêmicas estão sendo realizadas para compreender a evolução das zonas costeiras, além dos processos erosivos atuantes no litoral cearense, possibilitando assim, informar à comunidade os riscos consequentes da antropização da costa, além de estabelecer métodos para evitar que praias que ainda não sofrem com processos erosivos, não estejam condicionadas a esse problema futuramente.

O litoral do Estado do Ceará (Figura 1) possui 573 km de linha de costa, indo do município de Barroquinha (extremo oeste) até Icapuí (extremo leste), sendo caracterizado por praias arenosas e lamosas, falésias arenosas e rochosas, além de recifes de arenito e/ou pontais

rochosos, permitindo assim, dinâmicas distintas em cada situação. De acordo com o Plano Nacional do Gerenciamento Costeiro (PNGC), é setorizado por: Setor Extremo Oeste (Amontada, Itarema, Acaraú, Cruz, Jijoca de Jericoacoara, Camocim, Barroquinha, Chaval e Granja), Setor Oeste (Paracuru, Paraipaba, Trairi, Itapioca), Região Metropolitana de Fortaleza (Aquiraz, Fortaleza, Eusébio, Chorozinho, Pacajus, Horizonte, Itaitinga, Guaiuba, Pacatuba, Maracanaú, Maranguape, Caucaia, São Gonçalo do Amarante) e Setor Leste (Icapuí, Aracati, Itaiçaba, Fortim, Beberibe, Cascavel, e Pindoretama) (MORAIS *et al.*, 2018).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Os autores (2020).

Segundo Farias (2008), o nível de ocupação urbana no litoral do Estado do Ceará é variável, garantindo assim diversos estados ao longo da costa entre áreas com tendências erosionais, deposicionais, ou que passam por equilíbrio. Tendo em vista que o litoral de Fortaleza possui o maior índice ocupacional do Estado, pode-se estimar que, quanto maior a proximidade com a capital, maior será o índice de erosão, em virtude do alto crescimento urbano na costa (PAULA, 2015).

Cabe ressaltar que a erosão é um processo natural presente na dinâmica costeira, o qual é resultado da remoção de sedimentos da praia por ondas, ventos e pela deriva litorânea, essencial no balanço sedimentar. Os processos erosivos passam a ser problemáticos a partir do

momento em que há ocorrência de déficit sedimentar, ou seja, a perda de sedimentos da praia se torna maior do que a alimentação da mesma, resultando em diversos problemas socioeconômicos em praias urbanizadas.

O mapeamento sistemático da linha de costa possui certa relevância ao inserir-se no planejamento da gestão costeira, contribuindo no planejamento urbano de cidades litorâneas. Assim, as técnicas de geoprocessamento se mostram bastante eficazes para estudos de análise costeira, sendo bastante relevantes nas análises multitemporais, fornecendo informações sobre a área dentro de um contexto geográfico e proporcionando a compreensão da evolução dos ambientes costeiros (FARIAS, 2008; AGUIAR, 2012; SOUZA, 2016).

Uma das ferramentas mais presentes nos estudos é o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), que consiste num complemento do software ArcGis, elaborado pela *United States Geological Service* (USGS) com a finalidade de analisar estatisticamente o comportamento da linha de costa de determinado local, ao longo de um determinado período de tempo. Assim, torna-se possível elaborar diagnósticos e possíveis prognósticos. Portanto, o presente trabalho visa realizar uma análise histórica do uso da ferramenta DSAS nos estudos de variação da linha de costa dos municípios litorâneos do Ceará, mostrando sua funcionalidade na obtenção de resultados.

REFERENCIAL TEÓRICO

A linha de costa possui diversos conceitos, pois trata-se de um componente litorâneo bastante mutável. Levando em consideração a análise desse componente de modo remoto (sem contato próximo), a linha de costa pode ser compreendida como o limite da preamar média, ou seja, a divisão entre sedimentos secos e molhados, resultantes das preamares de sizígia (CROWELL *et al.*, 1991 apud FARIAS; MAIA, 2010).

Dentre as diversas técnicas utilizadas para análise do comportamento dos sistemas praias estão as técnicas de geoprocessamento, responsáveis por manipular e analisar dados geográficos através de *softwares* agregados ao Sistema de Informações Geográficas - SIG. Assim, tais *softwares* são capazes de trabalhar com informações devidamente georreferenciadas.

A utilização das geotecnologias, com a finalidade de compreender os sistemas ambientais, se dá com os produtos de sensoriamento remoto (orbitais e/ou sub-orbitais, tais como imagens de satélites e fotografias aéreas). Esses permitem a obtenção de cenas capturadas ao longo dos anos, sendo instrumentos importantes na observação da dinâmica

espaço-temporal da linha de costa e dos diversos componentes geomorfológicos dos ambientes litorâneos, além de possibilitar a elaboração de prognósticos (SOUZA, 2016). Desse modo, é possível obter informações a respeito de um objeto sem haver contato físico com o mesmo.

Para a realização de análises de linha de costa, os produtos de Sensoriamento Remoto se mostram com algumas limitações no processo de delimitação de linha de costa. Quando se trata de análise temporal através de sensores remotos, a delimitação de linha de costa se dá apenas com a definição de linha de costa como “divisão entre sedimentos secos e molhados”, conforme proposto por Crowell (1991), sendo a única definição aplicável aos estudos de análise espaço-temporal. Assim, as variações de curto e longo prazo ocorrentes na costa (episódios de ressaca ou eventos cíclicos) não são observadas com vigor, podendo ocorrer uma diminuição na qualidade dos resultados, em termos de acurácia (FARIAS, 2008).

As ferramentas presentes nos SIG's são utilizadas para diversas finalidades. Com relação à análise de linha de costa, uma das ferramentas disponíveis é o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). A partir da adoção desta ferramenta, elaborada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos da América, e disponível gratuitamente para o *software* ArcGis, é possível analisar estatisticamente o comportamento da linha de costa em um determinado período de espaço e tempo.

Para gerar os cálculos, o DSAS necessita de três arquivos vetoriais: 1) a *baseline*, ou linha de base, desenhada de modo paralelo à linha de costa sendo posicionada *onshore* ou *offshore*, ou seja, dentro ou fora do continente, que servirá de base para os cálculos de movimentação da linha de costa; 2) os transectos, linhas perpendiculares à costa, responsáveis por gerar os cálculos de variação em determinados pontos, setorizam o litoral partindo da *baseline* e cruzando todas as linhas de costa disponíveis, sendo gerados automaticamente pelo DSAS, necessitando apenas a atribuição do intervalo entre cada transecto e; 3) os vetores de linhas de costa, cada uma atribuída a uma data do recorte temporal analisado.

A ferramenta DSAS conta com seis métodos estatísticos para análises evolutivas, cada qual contribuindo singularmente para a obtenção de diversos resultados. São eles: 1) *Shoreline Change Envelope* (SCE): responsável por calcular a distância entre as linhas extremas (a mais distante e a mais próxima da linha de base); 2) *Net Shoreline Movement* (NSM): calcula a distância entre a linha mais nova e a mais antiga; 3) *End Point Rate* (EPR): calcula a variação espacial das linhas de costa dividindo pelo tempo total da análise; 4) *Linear Regression Rate* (LRR): realiza um cálculo de regressão linear simples; 5) *Weighted Linear Regression Rate* (WLR): calcula a taxa de regressão linear ponderada; e 6) *Least Median of*

Squares (LMS): informa o valor da menor mediana dos quadrados. No entanto, os mais utilizados nas pesquisas desenvolvidas no litoral cearense são o *End Point Rate* e *Linear Regression Rate*, pois são considerados os métodos mais simples e que, ao utilizá-los, os resultados já se mostram completos o suficiente para conclusões a respeito da dinâmica costeira, auxiliando na gestão integrada da zona costeira (SOUZA, 2016).

O *End Point Rate* (EPR) é o método responsável por calcular o intervalo entre a linha de costa mais antiga e a mais recente, dividindo pelo tempo total desse intervalo (m/ano), fazendo assim uma média da movimentação anual da linha de costa durante o período analisado. O *Linear Regression Rate* (LRR) é, de modo geral, uma taxa de regressão linear que gera um valor anual de variação em metros (BARROS, 2018; SOUZA, 2016).

Vale ressaltar que essa ferramenta tem sido bastante utilizada em pesquisas de diversas regiões do Brasil (FRANCO; AMARO; SOUTO, 2012; RODRIGUES, 2017; RANIERI; EL-ROBRINI, 2015) e no mundo (NASSAR et al, 2018; SHEIK; CHANDRASEKAR, 2011), confirmando assim a popularização da metodologia para análises de linha de costa.

METODOLOGIA

Para atingir o objetivo exposto anteriormente, inicialmente foi realizada uma busca por publicações a respeito da utilização da ferramenta DSAS em pesquisas realizadas no litoral cearense. Desse modo, foi possível analisar como a ferramenta foi utilizada em cada pesquisa, além da sua importância para os estudos de dinâmica de linha de costa, auxiliando na obtenção de diagnósticos das praias do litoral cearense.

Seriam incluídas nesta análise pesquisas que tivessem utilizado imagens com resolução espacial menor do que 5m, as quais permitem que se reduzam erros de interpretação visual e posicionamento no momento da delimitação das linhas de costa. O recorte temporal de buscas, planejado inicialmente, era referente a um intervalo de dez anos, ou seja, abrangendo pesquisas que tivessem sido publicadas no período entre 2010 a 2019. Contudo, devido ao delineamento da pesquisa, em termos de recorte espacial (litoral do Ceará), resolução espacial das imagens utilizadas e recorte temporal, foram encontrados poucos trabalhos e, portanto, o recorte temporal foi revisto para o período compreendido entre 2008 e 2019.

A partir de pesquisas realizadas em bases de dados nacionais, utilizando a ferramenta *Google Scholar*, o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), bem como repositórios de Instituições de Ensino Superior

localizadas no Estado do Ceará, foram selecionados oito trabalhos para serem analisados, sendo dois artigos científicos, dois trabalhos de conclusão de curso, duas dissertações e duas teses, publicados entre 2008 e 2019.

Assim, as localidades do litoral cearense serão objeto de análise nesta pesquisa são (do sentido oeste para leste): Barroquinha, Camocim, Itarema, Caucaia, Fortaleza, Aquiraz, Cascavel, Fortim e Icapuí; a partir das seguintes pesquisas: Farias (2008), Marino e Freire (2013), Maia (2014), Souza (2016), Maia e Costa (2017), Barros (2018), Duarte (2018) e Lima (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

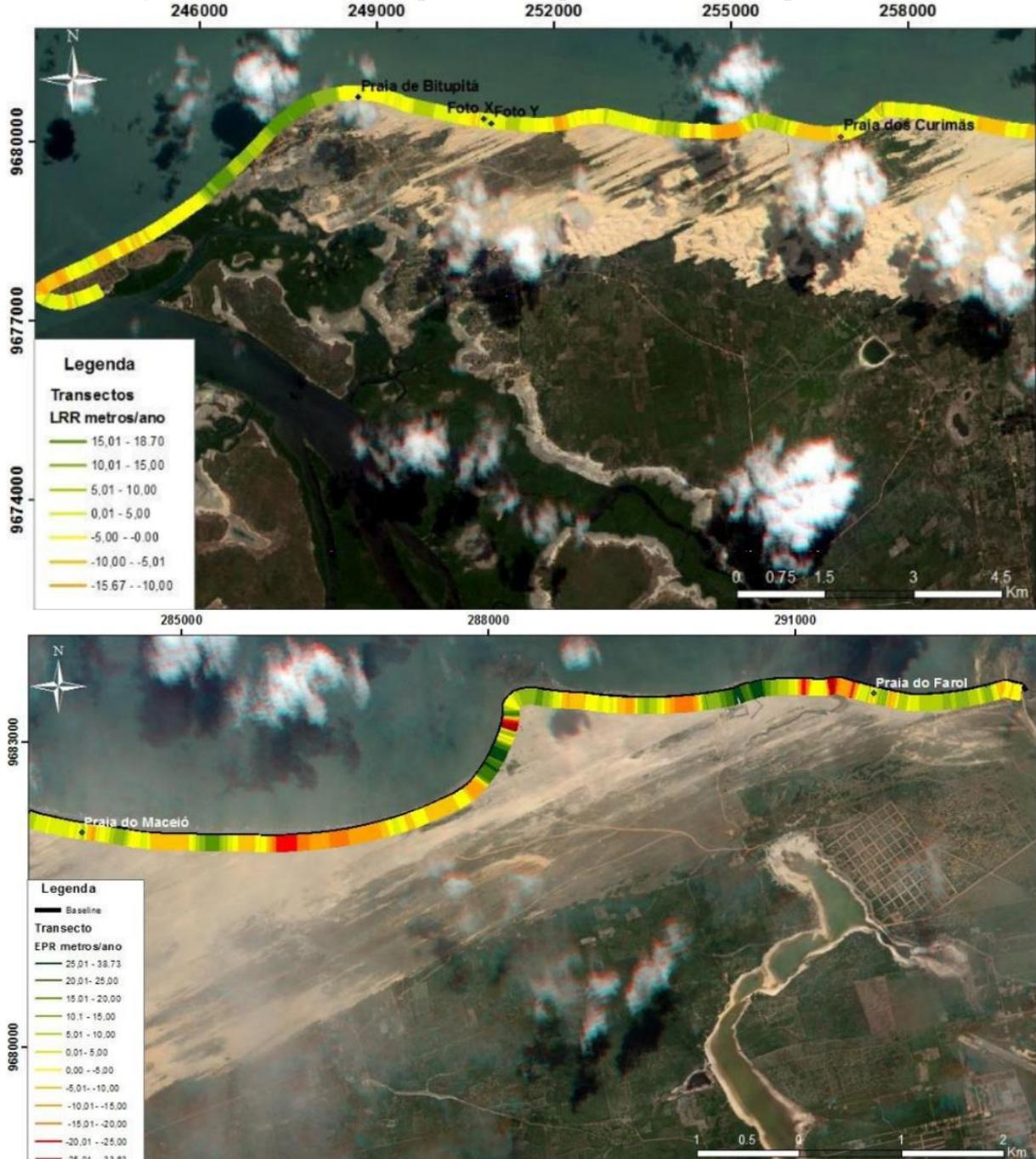
Os resultados e discussões serão apresentados em tópicos distintos para cada área/praias do litoral cearense, para as quais foram localizadas pesquisas que adotaram o DSAS, a saber: Barroquinha e Camocim; Itarema; Caucaia; Fortaleza e Aquiraz; Cascavel; Fortim; e Icapuí.

Barroquinha e Camocim

Maia e Costa (2017) calcularam as taxas de vulnerabilidade física à erosão nas praias de Barroquinha e Camocim, localizadas no extremo oeste cearense, com foco nas alterações da linha de costa de 2011 a 2014, utilizando o DSAS (Figura 2). Utilizando imagens *RapidEye* (resolução de 5 m) e os métodos EPR e LRR, chegou-se aos resultados que as praias de Bitupitá e Curimãs, em Barroquinha, sofrem tendências ora erosivas, com recuo de até 10 m/ano, ora progradacionais, com acréscimos na faixa de praia de até 5 m/ano.

As autoras concluíram que as praias de Barroquinha são subordinadas à remobilização dos sedimentos, que são transportados ao longo da costa pela deriva litorânea que atua no sentido Leste-Oeste. Esse processo ocorre naturalmente na costa do município, sem causar problemas relacionados à erosão, pois a área possui baixa taxa de urbanização, tendo apenas poucas casas próximas à costa. As autoras propuseram um planejamento correto da zona costeira do município, garantindo a segurança da linha de costa para movimentar-se livremente sem atingir as edificações construídas, mantendo o baixo nível de ocupação.

Figura 2 - Análise dos municípios de Barroquinha e Camocim, respectivamente.



Fonte: Maia e Costa, 2017.

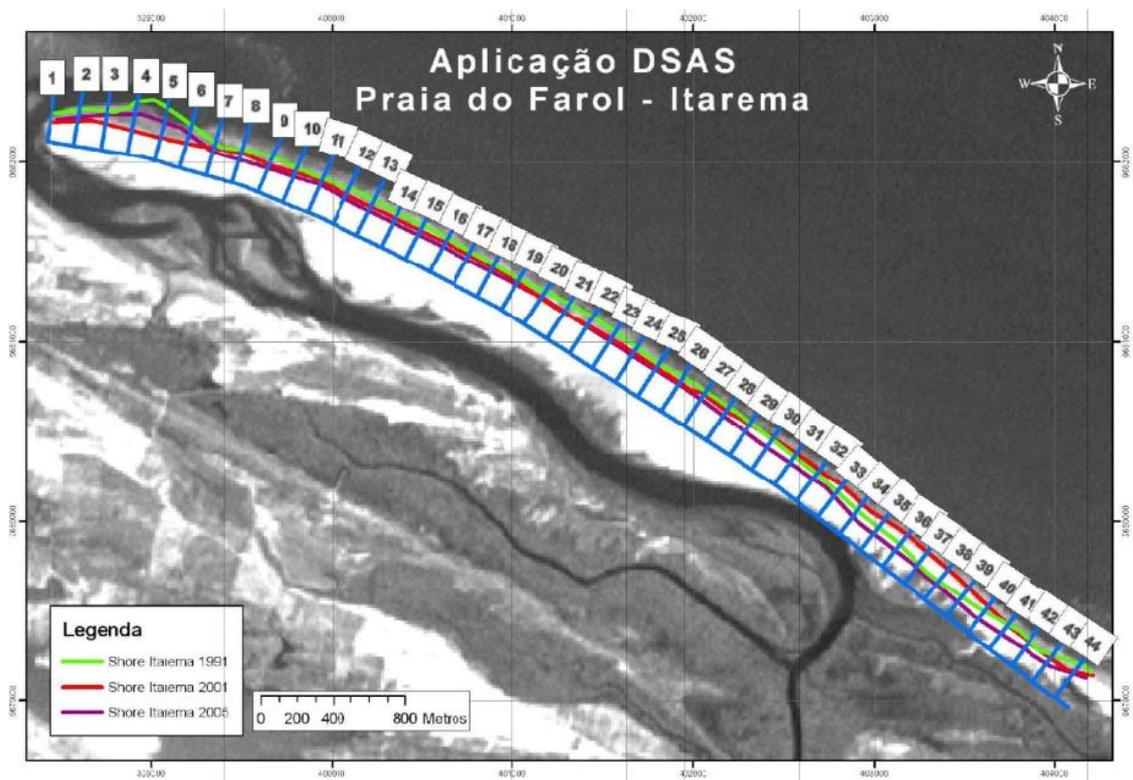
No município de Camocim, nas praias de Farol e Maceió, as autoras encontraram tendências progradacionais associadas à influência dos sedimentos transportados pelo Rio Coreaú e depositados próximos à foz. As tendências são instáveis devido às condições climáticas do Estado do Ceará, que, durante o período chuvoso, no primeiro semestre do ano, permitem um maior transporte de sedimentos devido ao aumento da vazão do rio, e durante o

período seco, na segunda metade do ano, o rio diminui sua vazão, impedindo boa parte dos sedimentos de chegarem até sua foz e se depositando ao longo das margens do rio.

Itarema

O município de Itarema, localizado na porção oeste do Estado, foi analisado por Farias (2008). Foram calculadas as taxas de recuo da linha de costa, associando os resultados com os processos dinâmicos pontuais em uma análise multitemporal, utilizando imagens de diversos sensores e demais produtos de Sensoriamento Remoto. O autor utilizou imagens Landsat e CBERS, para o recorte temporal de 1991 a 2005, e aplicou os métodos EPR, LRR e JKR (Figura 3).

Figura 3 - Aplicação do DSAS na praia do Farol em Itarema.



Fonte: Farias e Maia, 2010.

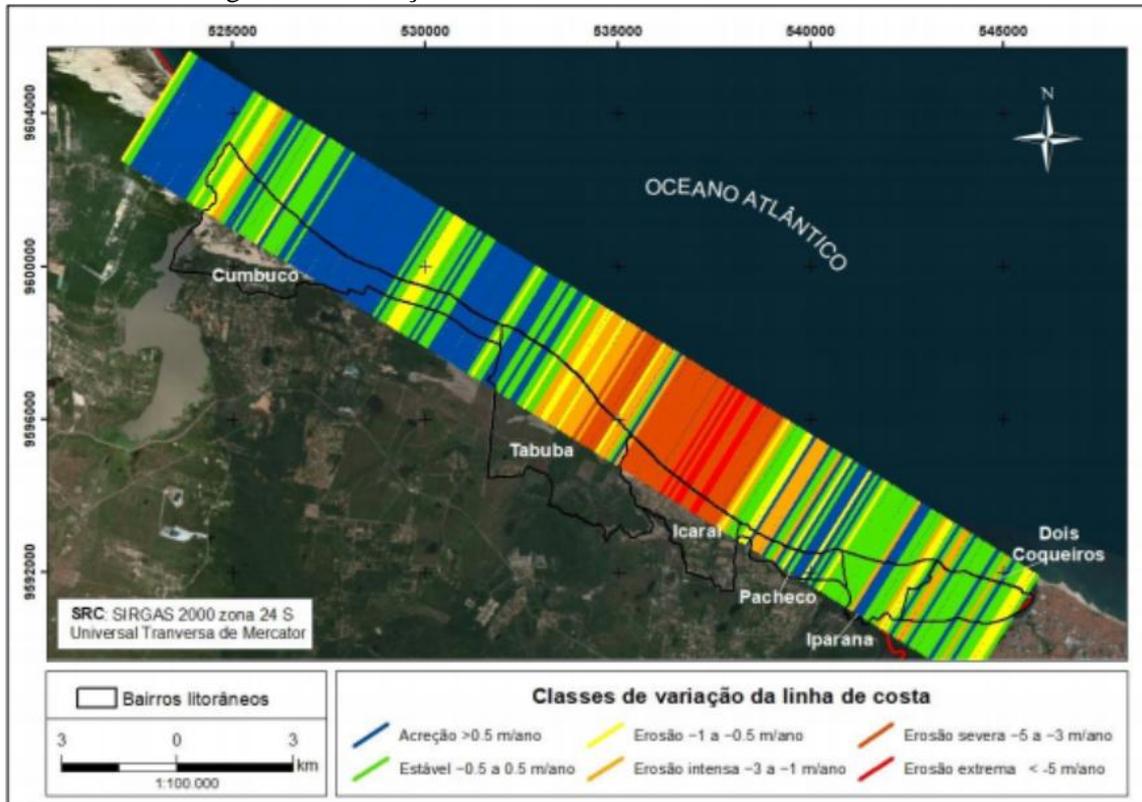
O município apresentou índices críticos de erosão, com média geral de $-3,4\text{m/ano}$, tendo valores máximos de até $-8,8\text{m/ano}$, segundo o método LRR. Segundo o autor, essa evolução está associada à migração natural, pela deriva do cordão litorâneo existente na praia que, em 4 anos, migrou 483m para oeste e ficou cerca de 25,8m mais estreito. Apesar da região possuir baixo atrativo turístico, sendo ocupada apenas por moradores e pescadores

locais, com a finalidade de contenção dos processos erosivos contínuos, foram construídos gabiões de forma inadequada, que logo foram destruídos pela ação das ondas.

Caucaia

No município de Caucaia, Farias (2008) analisou as praias de Iparana, Pacheco e Icaraí, principais focos de erosão do município, utilizando imagens *Landsat* e *Quickbird* (Figura 4). A praia de Iparana foi atingida por intensos processos erosivos desde a década de 1980, como consequência da construção do Porto do Mucuripe e dos diversos espigões instalados na orla de Fortaleza que gradativamente deslocou os processos erosivos para as praias a oeste. Em consequência desse problema, em 1992 houve a construção de um *seawall*, como método de contenção do avanço do mar, a fim de evitar danos ao patrimônio edificado (DIAS, 2005).

Figura 4 - Utilização da ferramenta DSAS no litoral de Caucaia.



Fonte: Lima, 2019.

Na análise foram calculadas, para a praia de Iparana, taxas médias de 1,25m/ano, com valores máximos de até -9,4m/ano. Já na praia do Pacheco a média é de -1,25m/ano, porém com valor máximo de -4m/ano e com tendências pontuais de deposição com média de 1,11m/ano associados aos fluxos dinâmicos da região. Na praia do Icaraí a média foi de -0,95m/ano com valor máximo de -2m/ano segundo o método LRR.

Atualmente, a praia do Icarai é o principal foco de erosão do município (e um dos maiores no estado do Ceará), com taxas de até 6m/ano, apresentando tendências erosivas em 97% da sua orla, enquanto as praias de Iparana e Pacheco possuem 61% de sua costa com tendências a estabilidade (LIMA, 2019). Na tentativa de mitigar o problema erosivo na praia do Icarai, o qual vem destruindo construções e vias de acesso, foi construído um dissipador de energia do tipo *bagwall*, com 1,5km de extensão, no ano de 2010.

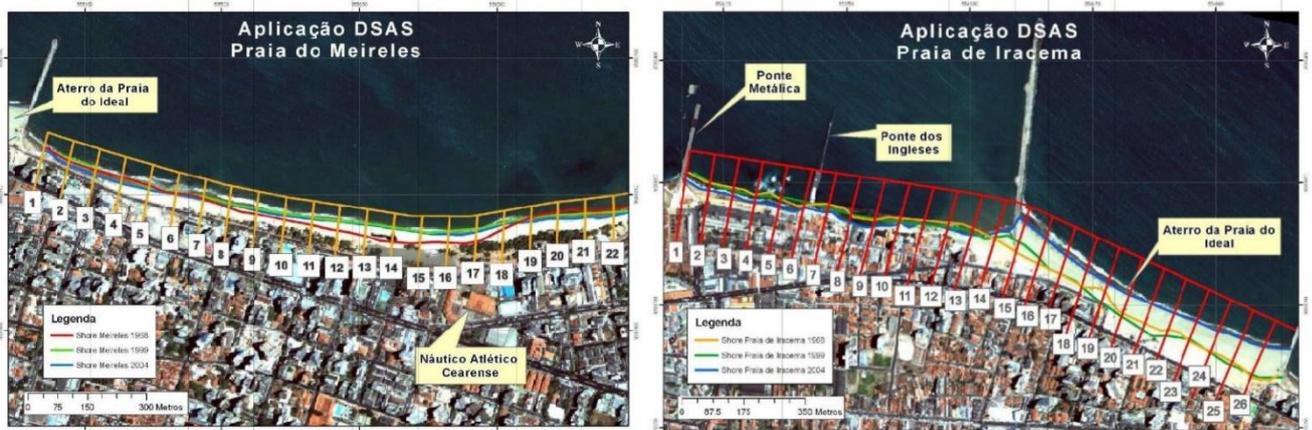
Ainda em Caucaia, na praia do Cumbuco, a qual é considerada um dos melhores recantos para turismo e lazer no estado do Ceará, devido às boas condições ambientais para práticas turísticas, Lima (2019) demonstrou que há tendências progradacionais com taxa de mais de 7,75m/ano, devido à condição do Porto do Pecém, localizado a barlamar, servindo como uma armadilha de sedimentos.

Fortaleza e Aquiraz

Em Fortaleza, Farias (2008) analisou as praias de Meireles e Iracema, num recorte temporal de 1968 a 2004, conforme Figura 5, utilizando imagens *Landsat* e *Quickbird*, além de fotografias aéreas. Para a praia do Meireles, no período de 36 anos, observou uma média geral de deposição de 0,10m/ano com valor máximo de 1,1m/ano e taxas de erosão de cerca de -0,6m/ano, garantindo certa estabilidade segundo o método LRR. Na praia de Iracema, os valores máximos foram de -0,5m/ano, apresentando tendência erosiva em toda a costa, com exceção da região do aterro hidráulico, construído em 2001 para conter o avanço do mar.

Apesar das taxas pequenas, foram encontrados diversos problemas relacionados à erosão costeira devido ao alto índice de ocupação da orla, destruindo estruturas e partes do calçadão, sendo necessária a construção de obras de proteção como os enrocamentos.

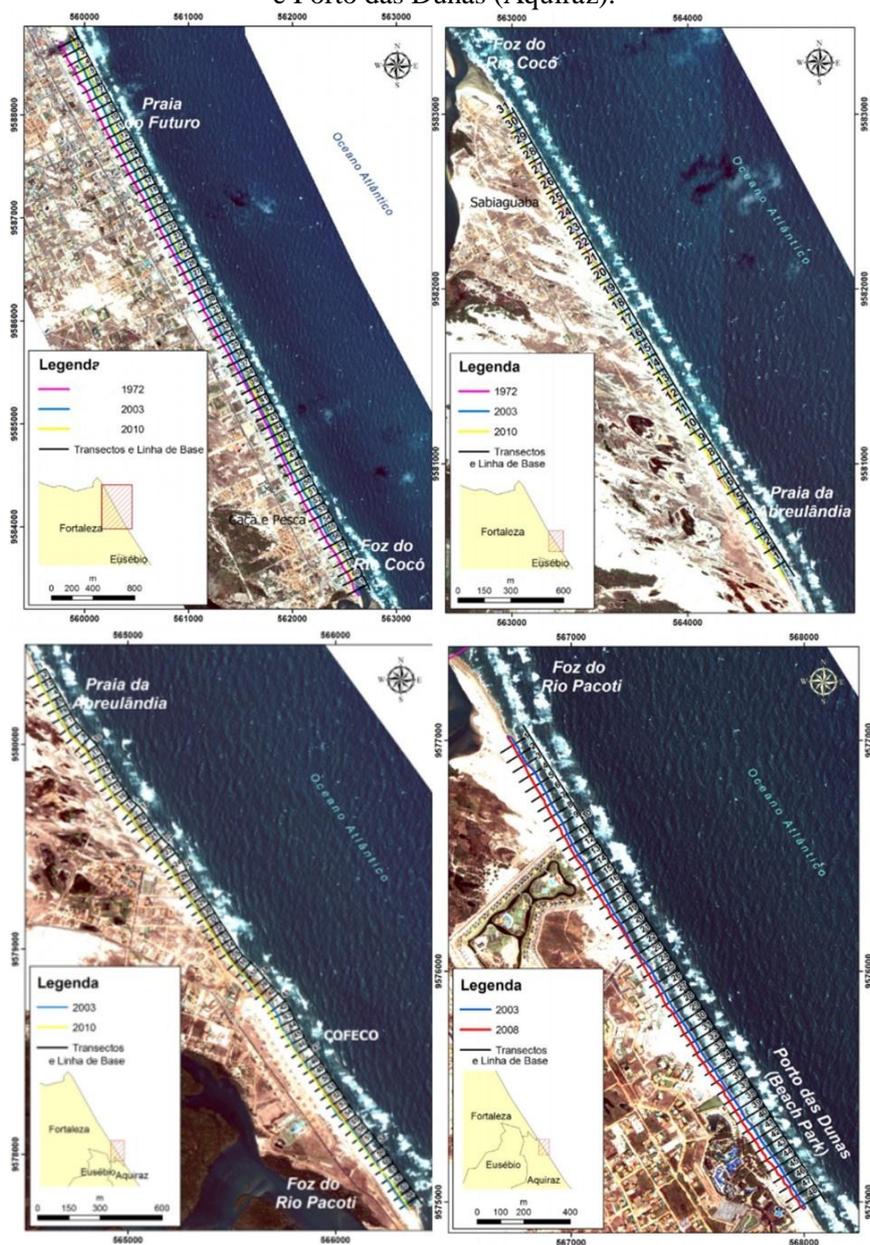
Figura 5 - Aplicação do DSAS nas praias de Meireles e Iracema, respectivamente, em Fortaleza.



Fonte: Farias, 2008.

Marino e Freire (2013) estudaram a orla da porção leste de Fortaleza, desde a praia do Futuro, até o Porto das Dunas, no município de Aquiraz (Figura 6). Analisaram o período entre os anos de 1972 a 2010, utilizando imagens *Quickbird* e fotografias aéreas. Para a praia do Futuro foi evidenciada uma tendência de progradação de 1,49m/ano, engordando ao todo cerca de 54 m de faixa de praia em 38 anos. Nas praias da Sabiaguaba, Abreulândia e COFECO foram detectadas tendências erosivas de -0,07m/ano a -3,63m/ano, porém com impactos insignificantes devido à baixa taxa de urbanização da costa. A construção de barramentos ao longo dos rios Cocó e Pacoti auxiliou nos processos erosivos dessas praias, devido à diminuição da carga de sedimentos que chega à praia, causando déficit sedimentar.

Figura 6 - Análise das praias do Futuro, Sabiaguaba, Abreulândia e COFECO (Fortaleza); e Porto das Dunas (Aquiraz).



Fonte: Farias, 2008.

Já em Aquiraz houve taxas de erosão de $-3,53\text{m/ano}$ com valores máximos de $-6,03\text{m/ano}$, no intervalo de 5 anos (2003 a 2008). Segundo a autora, a região era área de transporte de sedimentos durante as últimas quatro décadas, porém, com o avanço da urbanização, a mesma foi tomada aos poucos pela infraestrutura turística, que ocupou regiões importantes para a dinâmica costeira, como a planície de deflação, acarretando nos processos erosivos existentes.

Maia (2014) também analisou as praias de Aquiraz (no período de 1954 a 2014), e apontou que os cenários críticos de erosão nesse período estavam localizados na Praia do Porto das Dunas, devido a construção do *resort* e clube aquático *Beach Park* em 1985 e que, ao longo dos anos, formou um megacomplexo turístico na região, com ocupação de campos de dunas frontais e a pós-praia, componentes essenciais na alimentação sedimentar da praia.

Cascavel

No município de Cascavel, Farias (2008) estudou a praia da Caponga dos anos de 1984 a 2004, e, conforme a Figura 7, concluiu que nesse intervalo houve erosão média de $-7,3\text{m/ano}$, caracterizando uma forte tendência erosiva na região com valor máximo de até $-9,2\text{m/ano}$ no ponto de maior ocupação antrópica na orla. Segundo o autor, em 18 anos, a faixa de praia recuou cerca de 160m ao todo, provocando diversos prejuízos na infraestrutura local.

Figura 7 - Aplicação do DSAS na praia da Caponga, município de Cascavel.

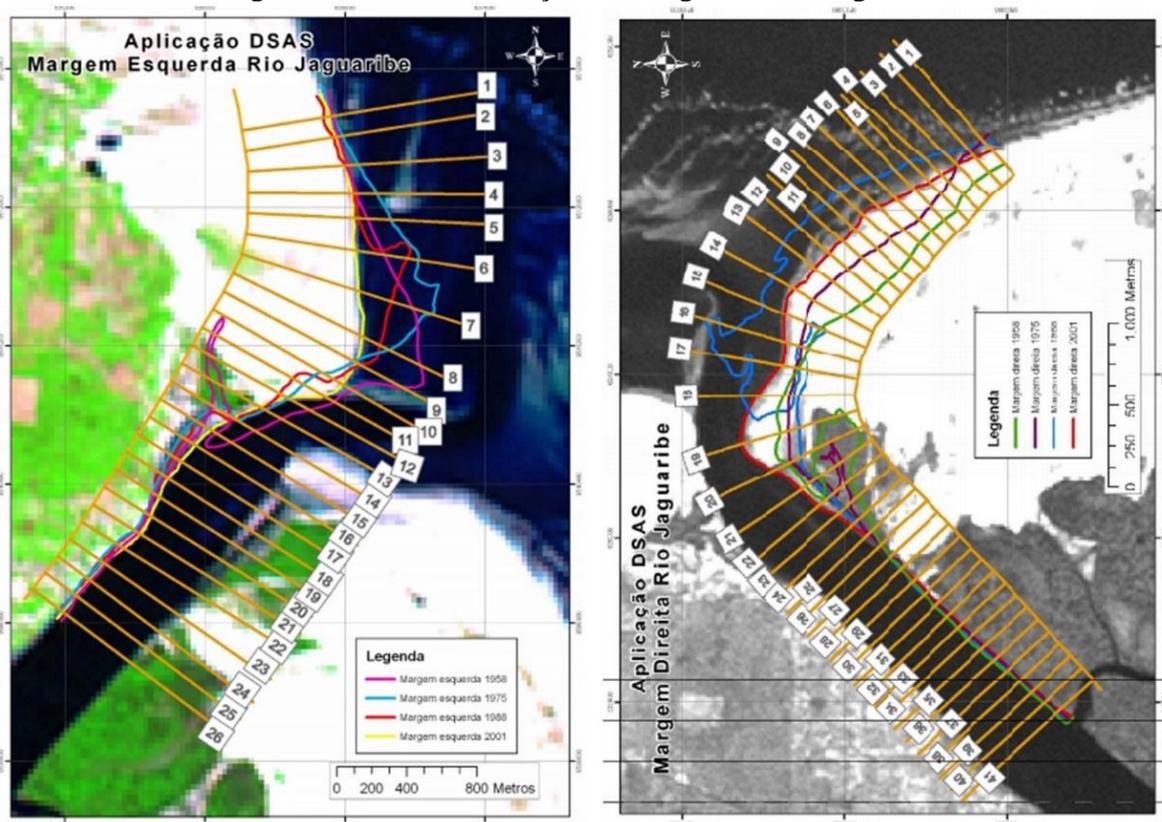


Fonte: Farias, 2008.

Fortim

Farias (2008) analisou também a foz do Rio Jaguaribe, em Fortim, um dos corpos d'água mais importantes do Estado do Ceará. As análises focaram o período compreendido entre anos de 1958 a 2001 e foram setorizadas para a margem esquerda e direita do rio (Figura 8). Na margem esquerda foi observado um recuo médio de $-0,83\text{m/ano}$ com valor máximo de até -10m/ano na desembocadura, devido a fatores hidrodinâmicos, geomorfológicos e até antrópicos. A instabilidade da vazão do canal ao longo do ano contribui para problemas erosivos devido ao déficit sedimentar causado pela ausência de sedimentos abastecendo a costa.

Figura 8: Análise da evolução das margens do Rio Jaguaribe.



Fonte: Farias, 2008.

Além disso, o transporte eólico atua na direção da deriva litorânea, empurrando a foz para leste, provocando erosão na margem esquerda e destruindo até casas construídas próximas ao rio. Na margem direita é observada a deposição dos sedimentos transportados, formando bancos de areia em alguns períodos. Possui média de deposição de $1,65\text{m/ano}$, porém em alguns pontos apresenta tendências erosivas com valores negativos de até $-6,1\text{m/ano}$ (FARIAS, 2008).

Além dessa região, a praia de Pontal do Maceió, localizada próximo a foz do Jaguaribe, também é analisada por Duarte (2018). Com o objetivo de analisar o comportamento espaço-temporal da linha de costa dos anos 2004 a 2014, o autor utilizou imagens *Quickbird* e *RapidEye*, além da realização de um monitoramento de curto prazo da linha de costa com GNSS RTK e estação total. Foi mensurada uma erosão média de -0,02m/ano, porém a partir de 2013 foi possível observar um acúmulo de sedimentos associados à dinâmica dos bancos arenosos, acumulados na margem direita do Rio Jaguaribe, conforme citado anteriormente.

Icapuí

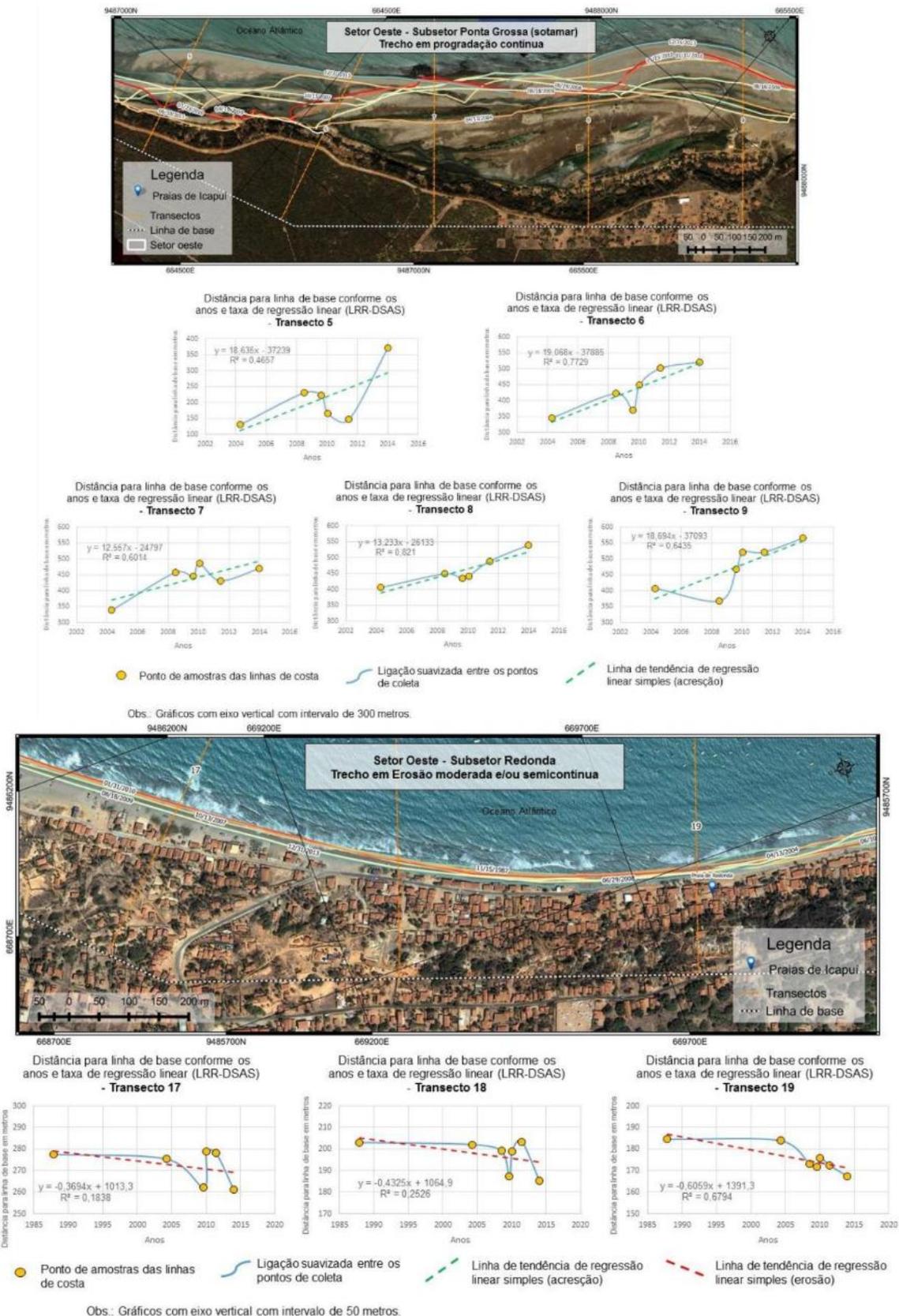
O município de Icapuí, localizado no extremo leste do Estado do Ceará, foi analisado por Souza (2016), que estudou a linha de costa de todo o litoral de Icapuí entre 1987 a 2014 (27 anos), setorizando a praia em 3 partes: oeste, central e leste. Utilizou os métodos do DSAS de variação máxima (NSM), variação absoluta (SCE), média de variação anual (EPR) e a tendência anual de regressão linear (LRR) com o auxílio de imagens *Landsat* (30m de resolução), *Quickbird* (60cm), *CBERS 2B* (2,5m), *WorldView II* (50cm), *RapidEye* (5m), além de imagens de alta resolução disponibilizadas pelo Google Earth e fotografias aéreas.

O setor oeste, que abrange as praias de Ponta Grossa, Retiro Grande, Redonda, Peroba e Picos, foi o trecho que apresentou as maiores variações evolutivas (tanto erosão, quanto progradação), tendo de 20m a 60m de variabilidade, exceto no setor a sotamar do promontório de Ponta Grossa, que teve progradação de cerca de 240 m entre as linhas de costa mais antiga e mais recente, segundo o método NSM. Destaque para a praia de Redonda, com variação de -1m/ano, taxa que, mesmo sendo considerada relativamente baixa, foi responsável por ocasionar problemas de infraestrutura, devido ao alto índice de ocupação próximo a linha de costa (Figura 9).

Para o setor central, o autor identificou duas áreas com variações significativas, sendo uma com tendência erosiva, relacionada à praia da Barrinha, local onde já ocorreram diversos danos às estruturas, e outra progradacional, associada ao *spit* arenoso no estuário da Barra Grande.

Já no setor leste, desde a praia de Quitérias até a divisa com o Rio Grande do Norte, a análise foi de 11 anos (2003 a 2014) constando áreas de progradação semicontínua, com valores de até 26,4m de acreção, segundo o método NSM, e áreas de erosão moderada, associadas às mudanças da desembocadura do Rio Arrombado, com valores de até 10m de erosão.

Figuras 9 e 10: Aplicação do DSAS nas praias de Ponta Grossa e Redonda, setor Oeste de Icapuí, respectivamente. A Praia de Ponta Grossa apresenta tendências progradacionais associadas a promontório e a Praia de Redonda possui taxas relativamente baixas de erosão, porém causando intensos impactos devidos à presença de construções muito próximas à costa.



Fonte: Souza, 2016.

Barros (2018), em seu estudo desenvolvido na região, aponta que a erosão em Icapuí passou a ser um problema após sua emancipação, deixando de fazer parte do município de Aracati, começando a aparecer notícias frequentes a respeito entre 2011 e 2014. Uma das causas desses problemas seria de cunho natural: o regime de mesomaré (marés de até 4m de amplitude) associado ao perfil praiial plano e sedimentos muito finos, que ajudam o mar a avançar áreas mais distantes em períodos de maré de sizígia, acarretando em uma elevação do nível do mar considerável, colocando em risco alguns trechos da região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise de pesquisas que utilizam o DSAS em suas metodologias, pode-se apontar alguns pontos positivos e negativos da extensão. O DSAS está possibilitando cada vez mais a realização de diagnósticos e a compreensão das dinâmicas locais de determinadas praias, como os fatores que contribuem para o aporte sedimentar e as razões que culminam em processos erosivos intensos, gerando transtornos econômicos de diversas escalas. Além do mais, os desenvolvedores lançaram em 2018 uma nova atualização capaz de realizar prognósticos a respeito da situação da dinâmica do local (HIMMELSTOSS *et al.*, 2018).

No entanto, a ferramenta apresenta certos problemas e dificuldades, que foram observados nos trabalhos. A indisponibilidade de imagens de alta resolução de certas áreas do litoral, bem como restrições para o acesso de determinadas imagens, ou a necessidade de pagamento para obtenção destas imagens, acaba por prejudicar pesquisas, corroborando para vazios temporais nas análises e utilização de imagens de baixa resolução espacial (>5m) que não garantem a acurácia dos resultados.

Cabe destacar que nem sempre é possível adquirir imagens de períodos distintos, com a mesma resolução e também num mesmo momento de maré (ex. primeira maré mais alta de uma determinada maré de quadratura em quarto-crescente), podendo acarretar em análises equivocadas, levando à conclusão do deslocamento da linha de costa, quando pode estar havendo apenas variação nas marés analisadas. Além disso, os métodos EPR, NSM e SCE podem mascarar processos evolutivos, já que consideram apenas duas linhas de costa extremas, sejam de data ou de distância.

A respeito da situação do litoral cearense, o DSAS permite observar que os problemas erosivos são evidentes, mas não generalizados. Ainda há ocorrências de praias que sofrem processos de progradação contínua (como o caso da praia do Cumbuco, por exemplo) e de

praias que sofrem erosão natural, sem causar impactos socioeconômicos. Desta forma, os estudos de evolução de linha de costa tornam-se cada vez mais presentes nos planejamentos urbanos, auxiliando na tomada de decisões a respeito do correto uso e ocupação do solo de áreas costeiras, garantindo a segurança dos componentes ambientais responsáveis pela alimentação sedimentar da costa, impedindo problemas relacionados ao déficit sedimentar.

Por fim, o DSAS pode ser considerado uma importante ferramenta para análises da dinâmica costeira, sendo utilizado por pesquisadores multidisciplinares em todo o mundo. Com as atualizações das versões, esta extensão busca sempre por melhorias, bem como incremento de métodos de análise, tornando-a cada vez mais importante em estudos socioambientais litorâneos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Ponciana F. de *et al.* Análise multitemporal da linha de costa da praia de Torrões (Itarema, Ceará, Brasil) em médio período (1958-2004) utilizando imagens Quickbird e fotografias aéreas. **Revista Geonorte**, Amazonas, v. 2, n. 4, p.1279-1290, jun/2012.

BARROS, Eduardo Lacerda. **Erosão costeira no município de Icapuí-CE na última década: causas, consequências e perspectivas futuras.** Tese (Doutorado) – Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

DIAS, Nilena B. M. **Influência de regime ondulatório sobre "seawall" de proteção na praia de Iparana - Caucaia - Ceará - Brasil.** 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

DUARTE, Débora M. **Erosão e progradação da praia de Pontal do Maceió, Fortim, Ceará.** 96p. TCC (Graduação) – Curso de Oceanografia, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

FARIAS, Eduardo G. G. de. **Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará.** 2008. 109f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

FARIAS, Eduardo G. G. de.; MAIA, Luís. P. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, [s.i], v. 10, n. 4, p. 521-544, dez/2010.

FRANCO, Caio G. de M.; AMARO, Venerando E.; SOUTO, Michael V. da S. Prognóstico da Erosão Costeira no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte para os anos de 2020, 2030 e 2040. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 25, n. 2, p.37-55, jul/2012.

HIMMELSTOSS, Emily A. *et al.* **Digital Shoreline Analysis System (DSAS):** Version 5.0 User Guide. Virginia: U.S Geological Survey, 2018.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais [e] Coordenação de Geografia. **Indicadores de desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/biblioteca/visualizacao/livros/liv94254.pdf>>. Acesso em: 16/06/2020.

LIMA, J. C.; LIMA, R. J. R.; BARROS, E. L.; Paula, D. P. Análise multitemporal da variabilidade da linha de costa do litoral do município de Caucaia, Ceará, Brasil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 21, n. 2, p. 864-884, 2019.

MAIA, Claudiane dos S.; COSTA, Elian A. F. **Análise da vulnerabilidade à erosão costeira das praias de Bitupitá, Curimãs, Farol e Maceió - litoral noroeste do estado do Ceará.** 2017. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MAIA, Glacianne G. de O. **Vulnerabilidade e riscos naturais a eventos de alta energia nas praias semiurbanas e naturais do litoral de Aquiraz, Ceará.** 2014. 189f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

MARINO, Márcia T. R. D.; FREIRE, George S. S. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, [s.i.], v. 13, n. 1, p.113-129, mar/2013.

MEIRELES, Antônio J. A. **Geomorfologia costeira: funções ambientais e sociais.** Fortaleza: Edições UFC, 2012.

NASSAR, Karim *et al.* Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt. **Marine Georesources & Geotechnology**, [s.i.], v. 37, n. 1, p.81-95, mar/2018

PAULA, Davis P. de. Erosão costeira e estruturas de proteção no litoral da Região Metropolitana de Fortaleza (Ceará, Brasil): um contributo para artificialização do litoral. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p.73-83, dez/2015.

RANIERI, Leilanhe A.; EL-ROBRINI, Maâmar. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 42, n. 3, p.207-226, set/2015.

RODRIGUES, Pedro M. L. de S. **Erosão e acreção de sedimentos nas praias da Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro:** Aplicação do software DSAS. 2017. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017

SHEIK, Mujabar; CHANDRASEKAR. A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system. **Geo-spatial Information Science**, [s.i.], v. 14, n. 4, p.282-293, jan/2011

SOUZA, Wallason F. de. **Sensoriamento remoto e SIG aplicados à análise da evolução espaçotemporal da linha de costa do município de Icapuí, Ceará - Brasil**. 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), que permitiu a realização desta pesquisa.