REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA ISSN: 1982-5528
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br Fortaleza, BRA

EROSÃO COSTEIRA E ESTRTUTURAS DE PROTEÇÃO NO LITORAL DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA (CEARÁ, BRASIL): UM CONTRIBUTO PARA ARTIFICIALIZAÇÃO DO LITORAL

Coastal erosion and protection structures along Metropolitan Region Of Fortaleza-RMF (Ceará, Brazil): A contribution to coastal artificialization

Davis Pereira de Paula[1]

RESUMO:

A erosão costeira, em trechos urbanizados da costa cearense, tem provocado mudanças na paisagem. Este processo é consequência da artificialização dos sistemas naturais pelas atividades humanas, que tem provocado a diminuição do abastecimento sedimentar e consequente erosão. Nesse sentido, fazem-se necessárias medidas interventivas de proteção do litoral, a fim de minimizar os impactos ambientais e defender o patrimônio urbano. É cada vez mais comum que haja investimentos em estruturas rígidas de proteção costeira, consequentemente, potencializando o processo de artificialização da costa. Este estudo tem por objetivo realizar uma análise das obras de engenharia costeiras ao longo do litoral da Região Metropolitana de Fortaleza – RMF, destacando todos os elementos de defesa costeira artificial e estrutural. Para isso, foram utilizadas ferramentas computacionais de análise espacial por meio de técnicas geoprocessamento. No litoral da RMF foram identificadas 72 estruturas de engenharia costeira, sendo o litoral de Fortaleza, o mais artificial.

Palavras Chave: Proteção costeira; Estruturas rígidas; Zona costeira; Região Metropolitana de Fortaleza.

ABSTRACT:

Coastal erosion, in urbanized sections of Ceara coast, has caused changes in the landscape. This process is a consequence of the naturais systems artificialization by human activities, that has provoked the decrease in sediment supply and consequent erosion. In this sense, are necessary intervening measures of coastal protection in order to minimize environmental impacts and protect the urban patrimony. It is increasingly common that investments in coastal protection hard structures, consequently increasing the coastal artificialization process. This research aims to undertake an analysis of coastal engineering works along the coastline of the Metropolitan Region of Fortaleza (Região Metropolitana de Fortaleza - RMF), highlighting all the elements of artificial and structural coastal defense. For this, we used computational tools of spatial analysis using geoprocessing techniques. Seventy-two coastal engineering structures were identified in the coast of RMF, being the coast of Fortaleza, the most artificial.

Keywords: Coastal protection; Rigid structures; Coastal zone; Metropolitan Region of Fortaleza.

[1] Doutor, professor do Mestrado Acadêmico em Geografia da UVA e do Curso de Engenharia Civil. davispp@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Segundo o Diário Oficial do Estado do Ceará, datado de 8/9/14, a Região Metropolitana de Fortaleza - RMF é composta por 19 (dezenove) municípios, dos quais 8 (oito) são litorâneos, incluindo a capital do Estado, Fortaleza. O trecho territorial da RMF corresponde à Macrorregião de Planejamento do Ceará denominada de R1, na qual estão domiciliados mais de 40% da população do Estado (IBGE, 2010).

O litoral da RMF (LRMF) (Figura 1), objeto deste estudo, é composto pelos municípios de Trairi, Paraipaba, Paracuru, São Gonçalo do Amarante, Caucaia, Fortaleza, Aquiraz e Cascavel, os quais, juntos, representam 36% da população do Ceará e mais de 55% do PIB nominal cearense (IPEA, 2013; IPECE, 2014). No LRMF, está centrado um dos principais polos turísticos do Estado, em que seis dos oitos municípios que o compõem estão entre os dez municípios mais visitados pelos turistas que ingressam no Ceará via Fortaleza (SETUR, 2015). Além disso, nela estão centrados os dois principais portos do Ceará: o Mucuripe (em Fortaleza) e o Pecém (em São Gonçalo do Amarante), responsáveis pelas importações e exportações do Estado.

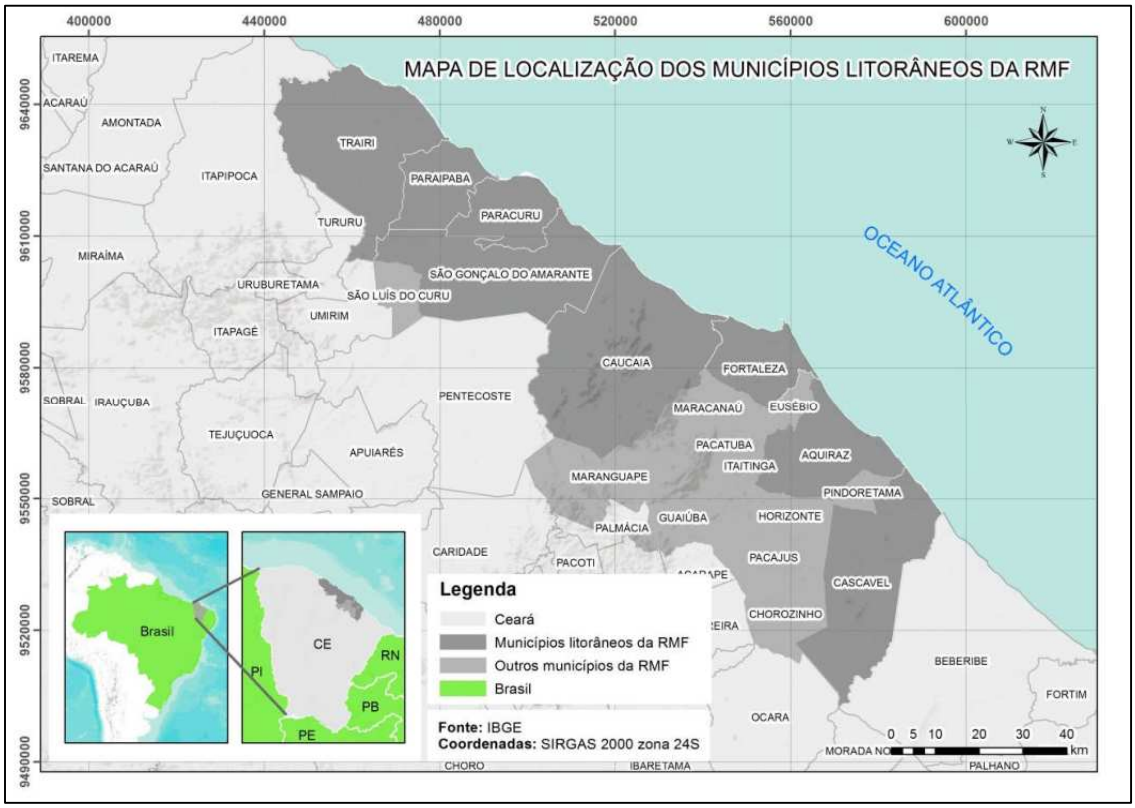


Figura 1: Mapa das cidades litorâneas da Região Metropolitana de Fortaleza.

O LRMF também é bastante procurado pelos veranistas que possuem a sua primeira residência em Fortaleza, na maioria dos casos. Nas últimas duas décadas, também passou a ser bastante procurado por estrangeiros, especialmente italianos e portugueses, que passaram a adquirir antigas residências (principalmente de pescadores tradicionais) para convertê-las em equipamentos turísticos, como hotéis, pousadas, restaurantes e bares. O aumento desse fluxo de ocupação ao longo da frente marinha da RMF trouxe reflexos negativos do ponto de vista ambiental, pois um trecho considerável da linha de costa foi fixado por equipamentos urbanos

e artificializado por meio de obras de engenharia costeira (*i.e.,* espigões, enrocamentos, dissipadores de energia e outros).

O processo de antropização ou artificialização do LRMF teve início na década de 1930, com a construção do Porto do Mucuripe e suas defensas (nomeadamente, o molhe do Titan e espigão do Titanzinho), ocasionando a erosão generalizada desse litoral (PAULA *et al.,* 2015). Para obviar os problemas com a erosão costeira foram construídos diversos espigões no extremo oeste de Fortaleza, o que levou à saturação da dinâmica sedimentar local, refletindo na erosão do litoral de Caucaia no final da década de 1980. Durante os últimos dez anos do século XX, os sistemas ambientais (*i.e.,* dunas, estuários e riachos) responsáveis pela manutenção da dinâmica sedimentar foram fortemente degradados e incorporados à malha urbana das cidades do LRMF, o que amplificou os riscos costeiros, dentre eles, a erosão (PAULA, 2012).

Atualmente, em toda a extensão do LRMF há focos de erosão costeira, sendo os principais localizados nas praias da Caponga (Cascavel), do Iguape (Aquiraz), do Icaraí (Caucaia) e da Taíba (São Gonçalo do Amarante) (Figura 2a). Nessas praias, o avanço do mar tem provocado a destruição de muros (casas, hotéis e pousadas), estradas, barracas de praia e infraestruturas urbanas (postes de iluminação e sistemas urbanos de drenagem). No intuito de defender o patrimônio edificado, diversas estruturas de proteção são construídas, contudo a eficiência é bastante discutida e controversa. No Icaraí, em 2011, foi construída uma estrutura rígida do tipo *Bagwall*, que, em menos de quatro anos, já apresentou diversas falhas construtivas, levando ao seu colapso e, com isso, potencializando o problema de erosão costeira (Figura 2b).



Figura 2: A) Trecho costeiro do Icaraí sob forte erosão marinha em fevereiro/15; B) As setas indicam os degraus do *Bagwall* que foram destruídos pela ação da agitação marítima local em fevereiro/15.

Para conter o avanço do mar e proteger o patrimônio edificado são construídas obras rígidas de defesa, podendo apresentar alto ou baixo nível tecnológico. Geralmente, as iniciativas individuais de proteção utilizam baixas tecnologias, resultando também em baixos índices de eficiência. As ações Governamentais, geralmente, são concretizadas por meio de obras que já envolvem alta tecnologia, o que não significa que sua eficácia também seja alta. Por ventura, conseguem trazer algum resultado pontual. Airoldi *et al*., (2005) e Bruun (2013) destacam que as obras podem ter por objetivo a proteção dos equipamentos urbanos (espigões), a recuperação do perfil praial (aterro hidráulico) e a consolidação de infraestruturas urbanas (portos). Já Koerner *et al*. (2013) destacam o efeito das estruturas de contenção na erosão da linha de costa, resultado da urbanização mal planejada da zona costeira.

O LRMF é um caso emblemático de erosão costeira seguido de proteção, em que os valores ambientais estão se perdendo nos locais de intensa urbanização. Nesse caso, diversas medidas paliativas foram concretizadas ao longo das últimas sete décadas, resultando na artificialização de parte desse litoral. Deste modo, o presente estudo teve como objetivo avaliar o uso de obras de engenharia costeira ao longo do LRMF, destacando as tipologias e a eficiência das mesmas no combate à erosão costeira e seus impactos socioambientais.

MATERIAL E METÓDOS

Para a elaboração da presente investigação foram utilizados programas que permitem estabelecer uma base cartográfica georreferenciada. Desse modo, foi possível identificar e destacar as tipologias de obras costeiras, bem como dimensionar a extensão da linha de costa urbanizada e não urbanizada da RMF. Inicialmente, as obras foram identificadas através das imagens do *Google Earth Pro*, utilizando uma busca visual com altitude do ponto de visão a 200 metros sobre todo o litoral.

Foram utilizadas imagens (2013 e 2014) da *DigitalGlobe* para o *Google Earth*. Nas imagens foram identificadas as obras de proteção costeira ao longo do LRMF. Após a identificação das obras, procedeu-se a sua delimitação e georreferencimento, gerando um arquivo do tipo KML, inserido no software ArcGis 10 através da ferramenta de extensão *XTools Pro*, como arquivo de trabalho do tipo *shapefile*.

Para determinar a extensão de cada obra, buscou-se cada marcação efetuada no Google Earth Pro e, com a ferramenta adicionar caminho, traçou-se uma polilinha sobre a obra, de uma extremidade a outra. Repetiu-se o processo de exportação em arquivo KML e de importação e conversão no ArcGis 10. A ferramenta *Calculate Geometry* permitiu determinar a extensão de cada obra costeira. Ainda no software ArcGis foi possível gerar dados estatísticos (*i.e.,* área, desvio padrão, extensão máxima, média e mínima e perímetro).

O último procedimento realizado foi a determinação da extensão urbanizada do LRMF. Para isso, com a altitude do campo de visão a 500 metros, gerou-se uma polilinha e um arquivo *shapefile* sobre cada trecho costeiro urbanizado. Com todas as polilinhas movidas para uma pasta e exportadas, repetindo processos anteriores, iguais ao da extensão de obras, identificou-se o somatório que determina a extensão urbanizada do LRMF.

Todas as informações extraídas estão no sistema de referência geodésico SIRGAS2000. As informações geradas no processamento das imagens de satélite foram incorporadas em um banco de dados no Sistema de Informações Geográficas – SIG, permitindo uma maior integração das informações com outras plataformas de análise geoespacial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Situação da Linha de Costa

O LRMF é de aproximadamente 190 km, o que equivale a cerca de 33% de todo o litoral cearense. A cidade de Fortaleza possui a linha de costa mais extensa da RMF, quase 34 km (ou 17% do LRMF). Outros trechos costeiros tão extensos, como o de Fortaleza, são os de Caucaia e Trairi. Em contraponto, o Município de Cascavel possui a menor extensão de linha de costa da RMF, menos de 14 km. Porém, possui um dos mais graves problemas de erosão costeira, observado na Praia da Caponga.

O estudo também constatou que dos 194 km de linha de costa, 101 km estão totalmente urbanizados, isto é, mais de 50% da linha de costa da RMF estão ocupados por alguma infraestrutura urbana. O Município de Fortaleza é o mais urbanizado da RMF, apenas 14,5% do seu total, não estão urbanizados. Situação preocupante, pois o nível de resiliência tende a ser baixo, o que dificulta a recuperação do sistema ambiental costeiro. Caucaia detém a segunda maior linha de costa urbanizada (20,67 km), seguida de Aquiraz (15,53 km). Os Municípios de Paraipaba e Paracuru apresentaram as menores taxas de urbanização da linha costa, em média, mais de 80% desses litorais encontram-se em estado natural.

Na Figura 3 é possível observar que 48% do LRMF, ainda, estão intactos, sendo que os municípios costeiros com maior percentual de áreas não urbanizadas estão localizados no extremo oeste da RMF. Enquanto os trechos mais urbanizados estão nas adjacências da cidade de Fortaleza. Decerto é que, quanto mais próximo de Fortaleza, mais fácil e rápido é o acesso rodoviário, isso pode induzir a uma maior atratividade desses municípios vizinhos, resultando em maiores índices de urbanização.

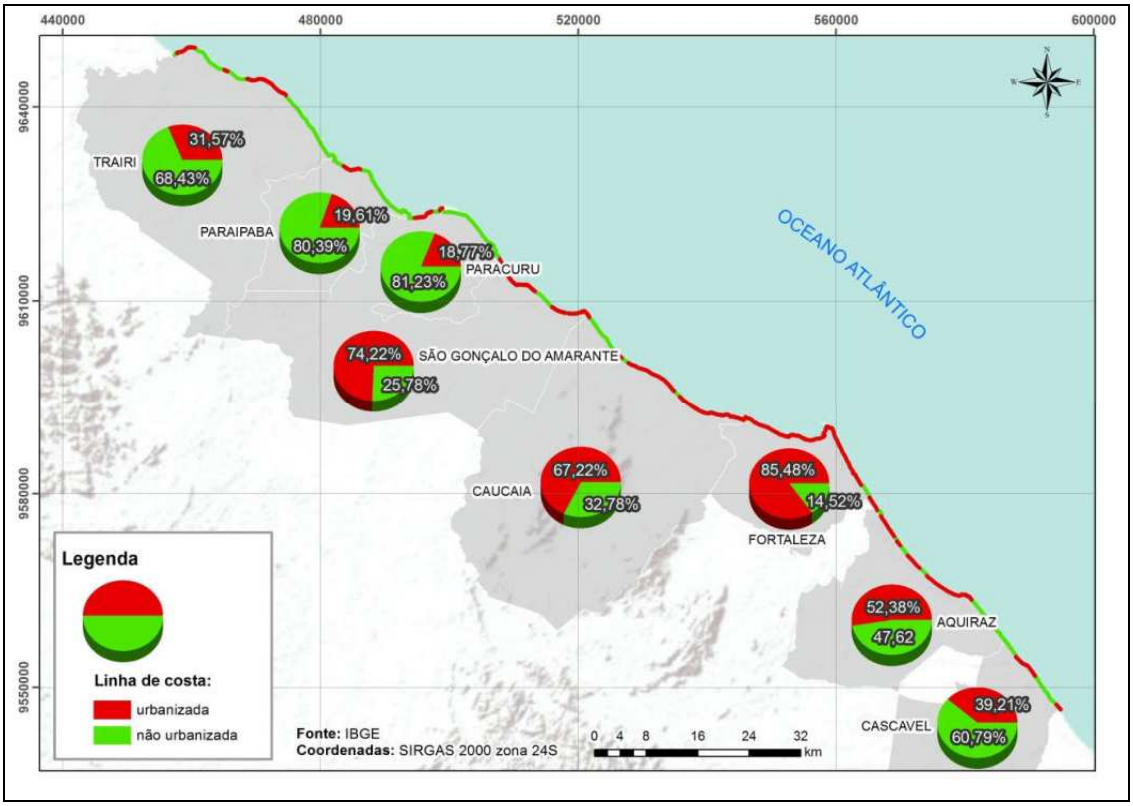


Figura 3- Identificação dos trechos costeiros urbanizados e não urbanizados ao longo do LRMF.

O aumento da urbanização, ao longo do litoral da RMF, foi impulsionado, nas últimas décadas, pelo desenvolvimento do turismo de sol e praia, que conduziu à edificação de equipamentos urbanos (i.e., habitações, condomínios de apartamentos, unidades hoteleiras, casas de veraneio e barracas de praia) e à consequente construção de infraestruturas (i.e., estradas, calçadas, saneamento básico) adjacentes à linha de costa. Tais fatos, por vezes, incorporam, na malha urbana, as dunas frontais e a alta praia, o que reduz sensivelmente a capacidade de suporte do ambiente em responder a situações extremas de estresse ambiental, como é o processo de erosão costeira.

Parte significativa do litoral da RMF ficou, portanto, com elevado nível de antropização. Essa situação amplifica os riscos costeiros de erosão e inundação, pois a dinâmica costeira

passa a ser condicionada pelas estruturas urbanas que limitam a linha de costa, condicionando uma nova dinâmica costeira, que é deficientemente conhecida, porém responsável pelo agravamento dos problemas de erosão costeira.

Essa condição ambiental é responsável por provocar danos à infraestrutura citadina, em que, para obviar os problemas, se constroem estruturas rígidas de proteção, nomeadamente enrocamentos, espigões e muros de alvenaria que, quando mal planejados (caso da maioria das obras costeiras da RMF), não conseguem recuperar o areal da praia, provocando uma sensação de avanço do mar sobre as estruturas urbanas. Com isso, ocorre a diminuição do volume de areia da praia, erodido pelas ondas, o que facilita a destruição dos equipamentos urbanos pelo espraio máximo das ondas.

Ferreira *et al*. (2009) destacam que, no processo de artificialização da costa, há mudanças significativas do ambiente natural, que passa a ser artificializado e condicionado pela matriz sociocultural e pela capacidade econômica local. Nesse sentido, os autores destacam que a perda da qualidade ambiental é fator preponderante para o declínio das atividades socioeconômicas (*i.e*., turismo e veraneio), como observado nas praias da Caponga (PINHEIRO *et al.*, 2004; MEIRELES, 2008; ROCHA e DINIZ, 2011) e do Icaraí (PAULA *et al.,* 2014).

O PROCESSO DE ARTIFICIALIZAÇÃO POR OBRAS COSTEIRAS

Pons e Rullan (2014) observaram que o processo de antropização/artificialização do litoral pode contribuir para o declínio do turismo, como ocorreu em alguns trechos da costa mediterrânea da Espanha. Freire et al. (2009) destacaram que o processo de artificialização da costa portuguesa tem forte influência dos centros urbanos turísticos costeiros, como é o caso da Região do Algarve (no sul de Portugal). No Brasil, é possível destacar os casos de artificialização das cidades costeiras de Santa Catarina, especialmente, na cidade de Balneário Camboriú, que possui um elevado grau de urbanização, consequência da dinâmica turística local (FERREIRA et al., 2009). No Rio Grande do Sul, a erosão costeira tem prejudicado o desenvolvimento das atividades balneares na Praia do Hermenegildo, levando à sua completa artificialização por estruturas de contenção, implementadas por moradores locais, com grau de sucesso variado (ALBUQUERQUE 2013; KOENER et al., 2013; OLIVEIRA e KOENER, 2015).

O processo de artificialização do litoral da RMF por obras costeiras é, na realidade, uma situação que se pode considerar como clássica, em que o espaço natural é artificializado pelo Homem, considerando suas conveniências e necessidades (Figura 4). Nesse sentido, os impactos adversos são, na maioria das vezes, desconsiderados quando da construção de uma estrutura de proteção. Além disso, os investimentos imobiliários podem migrar para uma região com melhor qualidade ambiental e não afetada por obras costeiras, gerando novos mercados turísticos.

Foram identificadas 72 obras de engenharia costeira ao longo do LRMF, sendo que, a esmagadora maioria das obras é destinada à proteção costeira, isto é, defesa do patrimônio urbano edificado ao longo da linha de costa. O material de construção mais utilizado são as pedras arrumadas ou não, podendo ser distribuídas paralelamente à linha de costa, no caso de enrocamentos aderentes (i.e., Fortaleza, Cascavel, Aquiraz e Caucaia), ou perpendicularmente, no caso de espigões (i.e., Fortaleza e Cascavel) (Figura 5). Este último tipo talvez seja a opção mais utilizada para controle da erosão costeira em escala global.

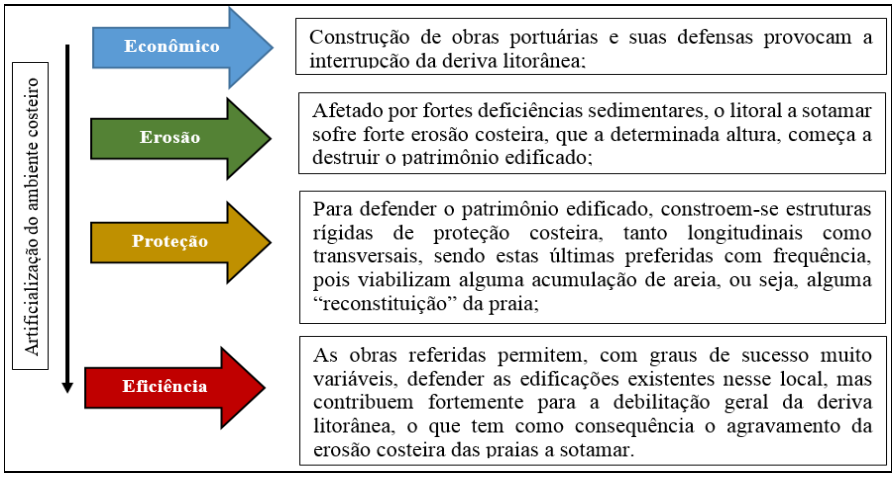


Figura 4: Fluxograma de artificialização do litoral da Região Metropolitana de Fortaleza.

Kraus et al. (1994) e Ozolçer et al. (2006) destacaram que o uso de um sistema de espigões tem por finalidade básica a manutenção da praia por trás da estrutura, isso ocorre porque há controle da quantidade de areia que transita off-shore na corrente de deriva litorânea, seria uma forma de aprisionamento de sedimentos. Van Rijn (2011) destaca que esse tipo de estrutura rígida pode levar a um aumento da variabilidade costeira, com taxas de erosão muito maiores do que a situação anterior. Isso ocorre por que esse tipo de estrutura, por vezes, leva a saturação da deriva litorânea (em maior ou menor grau), condicionando uma nova situação de dinâmica costeira, que é deficientemente conhecida, porém é caracterizada pela erosão das praias adjacentes, em maior parte dos casos. Essa situação ocorreu entre os municípios costeiros de Fortaleza e Caucaia no final da década de 1980. Esse último, assolado severamente pela erosão costeira, que tem nos espigões construídos em Fortaleza umas das suas causas.

O Município de Fortaleza apresenta a maior extensão de frente marinha urbanizada da RMF. Além disso, é também o município com maior número de obras costeiras, 35 no total – sendo na sua grande maioria, obras de proteção (espigões, enrocamentos e quebra-mares) e infraestrutura (portos, píeres e marinas). Fortaleza é a única cidade do LRMF que possui uma obra de recuperação, o aterro hidráulico da Praia de Iracema.

Além de Fortaleza, os trechos costeiros de Caucaia e Cascavel são os que apresentam maior quantidade de obras costeiras de proteção. O que já se esperava, pois são os mais importantes focos de erosão no litoral do Ceará. O município de Paraipaba, no extremo oeste do LRMF, não possui nenhum tipo de obra costeira em seu litoral, possuindo um dos trechos costeiros mais naturais, em que mais de 80% de sua extensão estão livres de qualquer forma de urbanização. Em Paracuru, a situação é similar, exceto porque há uma obra costeira de infraestrutura, no caso, um píer de atracação da Petrobrás (Figura 6).

Quanto à tipologia das obras edificadas ao longo do LRMF, foi possível identificar que a maioria delas se destina à proteção do litoral e seu patrimônio edificado. As principais estruturas utilizadas são os enrocamentos (no total de 31) e os espigões (no total de 25). Os enrocamentos são estruturas rígidas que utilizam camadas ou blocos de pedra junto à linha de costa para proteger o solo da erosão induzida pelo espraio máximo das ondas (wave runup). Domínguez et al. (2005) destacaram que essa técnica de revestimento de pedras para defesa costeira parece não ser eficaz o bastante, quando não se atenta para o dimensionamento correto da estrutura (ou seja, do tamanho das pedras), que deve levar em consideração nos seus cálculos, o clima de agitação marítima local.



Figura 5: Obras de proteção costeira identificadas ao longo do LRMF. A) Bateria de espigões na região do Pirambu, em Fortaleza; B) Enrocamento e espigão construídos na Praia da Caponga, em Cascavel.

Por ser uma técnica aparentemente simples, na maior parte dos casos observados no LRMF não foi realizado o correto dimensionamento da estrutura, e tampouco foi utilizado o revestimento da estrutura com a manta geotêxtil. Essa manta impede que haja fuga de sedimentos por trás das camadas de pedra, havendo colapso da estrutura. Outro problema identificado nesse tipo de técnica é o uso incorreto da pedra, pois na maior parte dos casos, as pedras não possuem o tamanho e o peso ideal (menos de 0,5 tonelada), o que facilita sua remoção pela agitação marítima (Figura 7). Em geral, são utilizadas na carapaça externa do enrocamento, isto é, na face em que há contato com abrasão marinha, pedras que pesam de 1 a 4 toneladas, distribuídas de forma que possam dissipar energia das ondas e proteger as infraestruturas ameaçadas.



Figura 6: Píer de atracação no litoral de Paracuru. Estrutura costeira logística destinada atracação de navios.

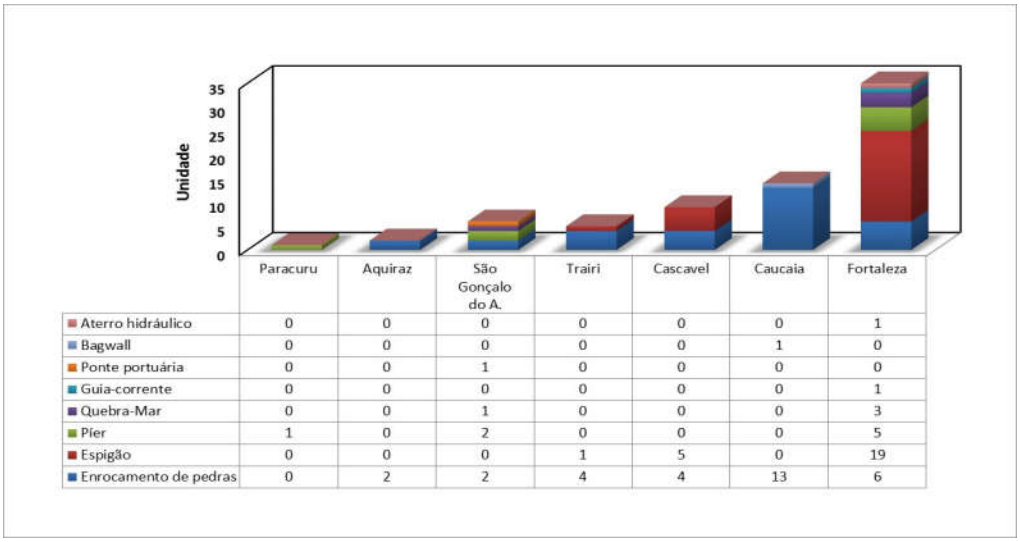


Figura 7: Enrocamento arrumado de pedras construído na Praia de Mundaú, no Município de Trairi.

Ao quantificar cada tipo de obra por município da RMF, verificou-se que a maior incidência de espigões está em Fortaleza (19) e Cascavel (5). O município de Caucaia detém o maior número de enrocamentos de pedras (13). As obras costeiras de infraestrutura portuária estão concentradas nos municípios de Fortaleza e São Gonçalo do Amarante (Figura 8).

Na análise espacial das obras costeiras do LRMF, os municípios de Fortaleza e Caucaia juntos concentram 68% de todas as obras (Figura 9). Os dados apresentados possibilitam evidenciar as considerações iniciais apresentadas, que devido à proximidade com Fortaleza, a facilidade de acesso rodoviário e os elevados índices de urbanização, as praias no entorno de Fortaleza apresentam o maior nível de transformações, e, portanto, concentram a maior

quantidade de impactos ambientais. Esses, por sua vez, desencadeiam a necessidade de novas intervenções para melhorar a qualidade ambiental e reduzir os impactos socioambientais.



	Paracuru	Aquiraz	São Gonçalo do A.	Trairi	Cascavel	Caucaia	Fortaleza
Aterro hidráulico	0	0	0	0	0	0	1
Bagwall	0	0	0	0	0	1	0
Ponte portuária	0	0	1	0	0	0	0
Guia-corrente	0	0	0	0	0	0	1
Quebra-Mar	0	0	1	0	0	0	3
Píer	1	0	2	0	0	0	5
Espigão	0	0	0	1	5	0	19
Enrocamento de pedras	0	2	2	4	4	13	6

Figura 8: Gráfico de distribuição do tipo de obra por município costeiro da RMF.

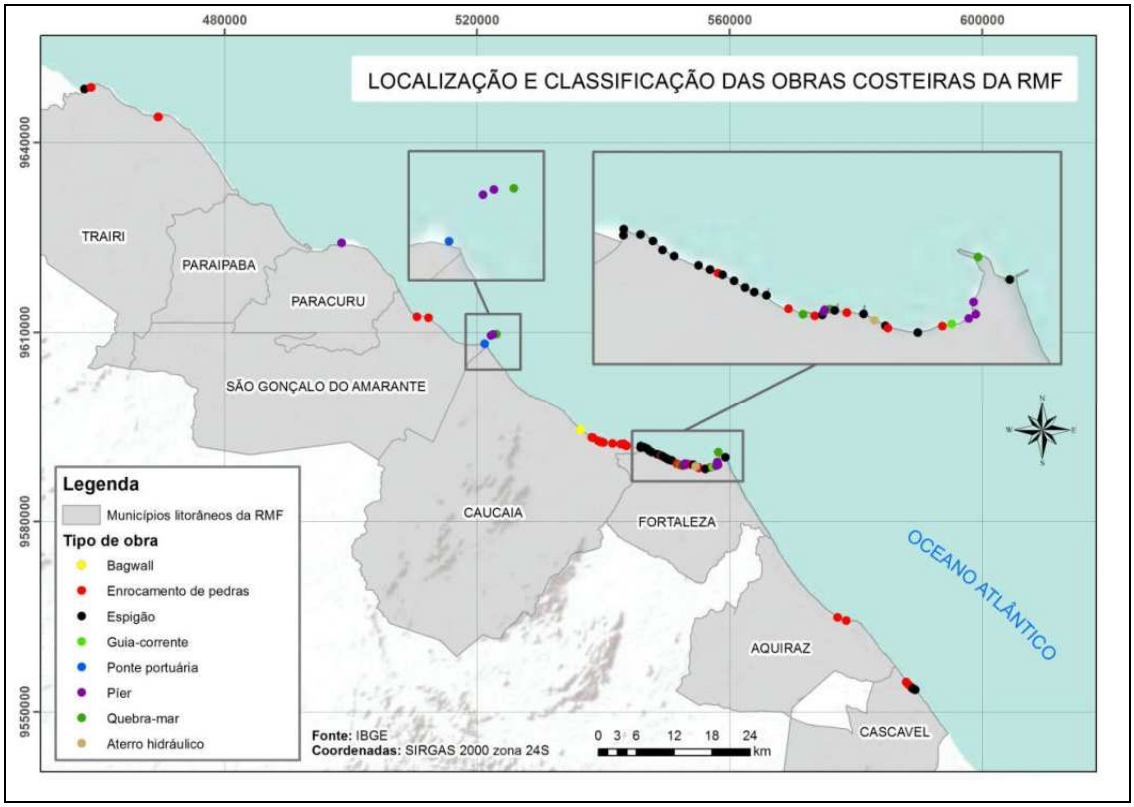


Figura 9: Mapa de distribuição espacial das obras costeiras ao longo do LRMF.

Com relação à extensão das obras, foi possível observar que o quebra-mar do Porto do Pecém, em São Gonçalo do Amarante, é a estrutura rígida de maior comprimento, mais de 2,7 km. Enquanto que a menor obra mede menos de 7 m, um enrocamento no litoral de Caucaia. O somatório do comprimento de todas as obras do LRMF totaliza mais de 24 km de extensão.

Esse não é o valor do trecho costeiro protegido, mas sim do total extensivo de estruturas rígidas no litoral da RMF. Por certo, nem todas as obras costeiras instaladas na RMF possui como designação única à proteção do litoral, haja vista as estruturas portuárias do Mucuripe e do Pecém.

O impacto das estruturas costeiras na proteção do litoral da RMF é bastante variável. As estruturas rígidas do tipo espigão e enrocamento estabilizam pontualmente a erosão costeira (isso, quando bem dimensionadas), mas contribuem fortemente para saturação da deriva litorânea. Isso porque tais estruturas obstruem o transporte longitudinal de sedimentos (no caso dos espigões), situação que aumenta, consequentemente, o risco de erosão nas praias a sotamar. Além disso, os enrocamentos de pedra, paralelos à linha de costa (como na Praia de Iracema), formam áreas propícias para a proliferação de doenças infectocontagiosas, que possuem como vetores principais insetos e roedores que se alojam entre as pedras. Da Silva e Pires (2007) destacam que as pedras de um enrocamento podem reter resíduos sólidos urbanos e matéria orgânica proveniente do lançamento de efluentes domésticos. Nesse caso, há proliferação de uma fauna nociva ao homem, especialmente no que tange à presença de ratos e baratas.

CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou que o geoprocessamento é uma importante ferramenta na identificação de obras costeiras, permitindo gerenciar o território e (re)ordenar as atividades humanas conforme as ameaças naturais, no caso, a erosão costeira. Contudo, em estudos de escala de detalhe, como o que foi realizado, é inevitável a confirmação das geoinformações em campo.

O litoral da RMF apresenta situações díspares quanto ao grau de urbanização da frente marinha, sendo que Fortaleza apresenta o trecho costeiro mais urbanizado dentre os demais municípios costeiros da RMF. Enquanto que os municípios de Paracuru e Paraipaba apresentam os menores índices de urbanização, mais de 80% da linha de costa estão livres de infraestruturas urbanas, inclusive obras de proteção costeira.

O que também é possível aludir a partir da distribuição espacial dos trechos costeiros urbanizadas e não urbanizadas, é que quanto mais próximo de Fortaleza, mais urbanizada é a linha de costa, por exemplo, Caucaia e Aquiraz. O oposto também se ajusta, pois quanto mais longe de Fortaleza, menos urbanizada é a linha de costa. Desse modo, a taxa de artificialização do litoral também respondem aos diferentes graus de isolamento e desenvolvimento de infraestruturas urbanas.

A maioria das obras costeiras ao longo da RMF destinam-se à proteção do litoral e seus patrimônios, especialmente o urbano. No caso do LRMF, os principais investimentos em proteção costeira são nas estruturas rígidas, isto é, enrocamentos e espigões. Nesse caso, os municípios de Fortaleza, Caucaia e Cascavel concentram a maioria das obras, pois também são os trechos costeiros mais afetados pela erosão costeira. Em Fortaleza há predominância de espigões como estrutura utilizada para conter a erosão costeira, medidas adotadas a partir da intervenção governamental. Já em Caucaia predominam os enrocamentos, em sua maioria, construídos por populares e caracterizados por um baixo grau de eficiência, pois estão subestimados devido a não realização do dimensionamento da estrutura.

Em alguns trechos do LRMF o grau de urbanização é muito baixo e, ainda não há indícios de erosão costeira. Portanto, são áreas que carecem de uma maior atenção para que não sejam, futuramente, convertidas em áreas de risco sob ação da erosão marinha. A forma mais adequada de defesa costeira é a manutenção dos sistemas ambientais, sejam as dunas

frontais e as rochas de praia, tendo em vista que o litoral da RMF é procurado por turistas e veranistas.

Apenas no litoral de Fortaleza foi observado que as estruturas rígidas obtiveram algum resultado na proteção do patrimônio edificado, porém não recuperaram a qualidade ambiental propícia ao desenvolvimento das atividades balneares. Exceção, seja feita ao trecho costeiro da Praia de Iracema, intervencionado por um aterro hidráulico. No restante das áreas intervencionadas foi observada a diminuição da área útil de praia, situação que interfere diretamente na dinâmica natural das ondas. Além disso, as estruturas longitudinais (enrocamentos) dificultam, ou até mesmo impedem, o acesso à praia dos usuários, podendo na maré cheia tornaram-se perigosas ao banho de mar. E por fim, as estruturas podem afetar o frágil balanço sedimentar das praias, agravando os problemas de erosão costeira nas regiões a sotamar, como foi o caso de Caucaia.

Finalmente, é possível concluir que em mais de 52% do litoral da RMF, os valores ambientais estão perdidos, logo é preciso um esforço para manter os demais trechos não urbanizados sem uma massiva pressão urbana, contribuindo para manutenção da resiliência ambiental. Considerando o alto potencial turístico dessa região, as medidas citadas também são importantes para a economia regional, pois a erosão afeta diretamente o uso balnear das praias e o desenvolvimento econômico local.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento da pesquisa através do Edital Universal 14/2013 (Processo 483811/2013-0) e aos acadêmicos José Wellington Severiano de Lima, Renan Lima Gondim, Antônio Wellington Arruda Mouta Júnior que auxiliaram a execução das coletas e análises. Sem eles a pesquisa não teria logrado os resultados alcançados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIROLDI, L.; ABBIATIA, M.; BECK, M. W.; HAWKINS, S. J.; JONSSON, P. R.; MARTIN, D.; MOSCHELLA, P. S.; SUNDELÖF, A.; THOMPSON, R. C.; ÅBERG, P. An ecological perspective on the deployment and design of low-crested and other hard coastal defence structures. **Coastal Engineering**. V. 52, Issues 10–11, p. 1073–1087, November 2005.

ALBUQUERQUE, M. G. **Análise espaço temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS**. Tese de Doutorado em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2013.

BRUUN, P. **Design and Construction of Mounds for Breakwaters and Coastal Protection**. Volume 3, Elsevier Science Publishing Company, New York, 2013. p. 931.

CEARÁ. Diário Oficial do Estado. Lei complementar N° 144. 2014. p. 1.

DOMÍNGUEZ, L.; AUFUSO, G.; GRACIA, F. J. Vulnerability assessment of a retreating coast in SW Spain. **Environmental Geology**. v. 47, p. 1037–1044, 2005.

FERREIRA, J. C.; SILVA, L.; POLETTE, M. The Coastal artificialization process. Impacts and challenges for the sustainable management of the coastal cities of Santa Catarina (Brazil). **Journal of Coastal Reserach**, Special Issue, n. 56, p. 1209-1213, 2009.

FREIRE, S.; SANTOS, T.; TENEDÓRIO, J. A. Recent urbanization and land use/land cover change in Portugal: the influence of coastline and coastal center urban. **Jornal of Coastal Research**, SI 56, p. 1499-1503, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. IBGE, 2010.

IPEA. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Caracterização e Quadros de Análise Comparativa da Governança Metropolitana no Brasil: Arranjos Institucionais de Gestão Metropolitana**. Fortaleza, 2013. p. 28.

____. **Perfil Básico Regional 2014: Região Metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza, 2014. p. 13.

KOERNER, K. F.; OLIVEIRA, U. R.; GONÇALVES, G. Efeito de estruturas de contenção à erosão costeira sobre a linha de costa: Balneário Hermenegildo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 13, n. 4, p. 457-471, 2013.

KRAUS, C. N.; HANSON, H.; BLOMGREN, S. H. Modern functional design of groinsystems. **Coastal Engineering**. Chapter 96, p. 1327-1242, 1994.

MEIRELES, A. J. A. Impactos ambientais decorrentes da ocupação de áreas reguladoras do aporte de areia: a planície Costeira da Caponga, município de Cascavel, litoral leste cearense. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 2, p. 1, 2008.

OLIVEIRA, U. R.; KOERNER, K. F. Comportamento das estruturas de contenção à erosão costeira no Balneário do Hermenegildo. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 7, n. 2, p. 67-76, 2015.

ÖZÖLÇER, İ. H.; KÖMÜRCÜ, M. İ.; BIRBEN, A. R.; YÜKSEK, Ö.; KARASU, S. Effects of T-shape groin parameters on beach accretion. **Ocean Engineering**. v. 33, Issues 3–4, p. 382–403, March 2006.

PAULA, D. P. **Análise dos riscos de erosão costeira no litoral e Fortaleza em função da vulnerabilidade aos processos geogênicos e antropogênicos**. 2012. 364 f. Tese (Doutorado em Ciências do Mar) – Universidade do Algarve-UALG, Faro, Portugal, 2012.

PAULA, D. P.; DIAS, J. M. A.; MORAIS, J. O.; FERREIRA, O. **A antropização da costa do Ceará, em especial da região de Fortaleza**. In: CORREIA, L. J. A.; OLIVEIRA, V. P.

V.; MAIA, J. A. (Org.). Evolução das paisagens e ordenamento territorial de ambientes interioranos e litorâneos. 2015. p. 95-115.

PAULA, D. P.; FARRAPEIRA NETO, C. A.; SOUZA, M. A. L.; DIAS, J. M. Alterações morfológicas na Praia do Icaraí (Caucaia-Ceará) após a construção de um dissipador de energia para controle da erosão costeira. **Revista GEONORTE**, Edição Especial 4, v. 10, n. 2, p. 7- 11, 2014.

PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J. O.; MEDEIROS, C.; PITOMBEIRA, E. S. The gabions for the protection of Caponga Beach, Ceará/Brazil: Hazards and Management. **Journal of Coastal Research**, v.39, p. 235-245, 2004.

PONS, A.; RULLAN, O. Artificialization and islandness on the Spanish tourist coast. **Miscellanea Geographica**, v.18, n.1, p. 5-16, 2014.

ROCHA, G. C.; DINIZ, M. T. M. Implicações da Erosão Costeira em Atividades Econômicas na Praia da Caponga – Cascavel – Ceará. **Revista Scientia Plena**, v. 7, n. 2, p. 1-9, 2011.

SETUR. Secretária do Turismo do Estado do Ceará. **Indicadores turísticos 1995-2014**. Coordenadoria de desenvolvimento de destinos e produtos turísticos, Célula de estudos e pesquisas, 2015. p. 36.

SILVA, P.; PIRES, M. A. F**. Renaturalização de rios, em áreas de trechos urbanos, com a aplicação de técnicas de bioengenharia em obras de engenharia hidráulica**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e VIII Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, v. 1, p. 162-179, 2007.

VAN RIJN, L. C. Coastal erosion and control. **Ocean & Coastal Management**. v. 54, Issue 12, p. 857-956, Dec. 2011.