

ASPECTOS RELACIONADOS ÀS TAXAS DE MOBILIDADE DA LINHA DE COSTA NO LITORAL BRASILEIRO

ASPECTS RELATED TO THE COASTLINE MOBILITY RATES IN THE BRAZILIAN COASTLINE

ASPECTOS RELACIONADOS CON LAS TASAS DE MOVILIDAD DE LA LÍNEA DE COSTA EN LA COSTA BRASILEÑA

RESUMO

Os ecossistemas costeiros são reconhecidos como complexos e sensíveis e são também singulares em razão das influências mútuas de processos marinhos e continentais, além de ações sociais que os impactam. A linha de costa, seja de forma natural ou potencializada pela ação humana, apresenta movimentos periódicos de avanço e de recuo, o que pode representar riscos para os ecossistemas e áreas urbanas adjacentes. Este trabalho apresenta resultados sobre as taxas de mobilidade da linha de costa na escala nacional e algumas correlações possíveis com padrões de uso e ocupação nos municípios defrontantes com o mar. Detectou-se o perfil majoritariamente rural (87%) do litoral brasileiro onde a vegetação florestal é a cobertura predominante. A erosão costeira ocorre em 32% do litoral brasileiro com taxas que variam de fracas (7,4%) a extremas (11,2%) com expressivas discrepâncias regionais. As áreas onde há tendência à erosão costeira em áreas urbanizadas ou áreas com algum tipo de ocupação são localizadas em cerca de 10% do litoral brasileiro, mas não menos relevantes uma vez que há uma concentração populacional relevante neste recorte. A boa notícia é que o foco das análises de erosão costeira visando a mitigação dos seus impactos pode ser concentrado nas áreas ocupadas e com maiores riscos e, a nível federal, considera-se necessário aprofundar diagnósticos com métodos unificados, prognósticos frente às mudanças climáticas e elaborar planos setoriais de mitigação considerando as particularidades de cada região litorânea, estabelecendo ainda critérios para o licenciamento ambiental de empreendimentos que afetem a estabilidade da linha de costa.

Palavras-chave: Geografia Marinha, Erosão Costeira, Mobilidade da linha de costa, Uso e atividades no litoral

ABSTRACT

Coastal ecosystems are recognized as complex and sensitive, and they are also unique due to the mutual influences of marine and continental processes, as well as social actions that impact them. The coastline, whether in its natural state or influenced by human activities, undergoes periodic movements of advance and retreat, which can pose risks to ecosystems and adjacent urban areas. This work presents results on the rates of coastal mobility at the national scale and some possible correlations with patterns of land use and occupancy in municipalities facing the sea. It was identified that the Brazilian coast is predominantly rural (87%), with forest vegetation as the predominant cover. Coastal erosion occurs along 32% of the Brazilian coast, with rates ranging from weak (7.4%) to extreme (11.2%), showing significant regional discrepancies. Areas where there is a tendency for coastal erosion in urbanized or occupied areas are found along approximately 10% of the Brazilian coast, but they are still relevant due to the significant population concentration in these areas. The good news is that the focus of coastal erosion analysis, aimed at mitigating its impacts, can be concentrated on the occupied areas with higher risks. At the federal level, it is considered necessary to deepen diagnoses using unified methods, make projections regarding climate change, and develop sectoral mitigation plans considering the specificities of each coastal region, while also establishing criteria for environmental licensing of projects that affect the stability of the coastline.

Keywords: Marine Geography, Coastal Erosion, Coastline Mobility Coastal Land, Use and Activities.

 Mayra Barros da Silva ^a
 Eduardo Bulhões ^a

^a Universidade Federal Fluminense (UFF),
Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

DOI: 10.12957/geouerj.2023.74504

Correspondência: mayrabarros@id.uff.br;
eduardobulhoes@id.uff.br

Recebido em: 29 mar. 2023

Revisado em: 18 mai. 2023

Aceito em: 07 jun. 2023



RESUMEN

Los ecosistemas costeros son reconocidos como complejos y sensibles, y también son singulares debido a las influencias mutuas de los procesos marinos y continentales, además de las acciones sociales que los impactan. La línea costera, ya sea de forma natural o potenciada por la acción humana, presenta movimientos periódicos de avance y retroceso, lo que puede representar riesgos para los ecosistemas y las áreas urbanas adyacentes. Este trabajo presenta resultados sobre las tasas de movilidad de la línea costera a nivel nacional y algunas posibles correlaciones con los patrones de uso y ocupación en los municipios costeros. Se identificó que el perfil predominante de la costa brasileña es rural (87%), con una cobertura forestal predominante. La erosión costera ocurre en el 32% de la costa brasileña, con tasas que varían de débiles (7,4%) a extremas (11,2%), con importantes discrepancias regionales. Las áreas donde hay tendencia a la erosión costera en áreas urbanizadas o con algún tipo de ocupación se encuentran aproximadamente en el 10% de la costa brasileña, pero no son menos relevantes, ya que hay una concentración poblacional importante en esta área. La buena noticia es que el enfoque del análisis de la erosión costera, con el objetivo de mitigar sus impactos, se puede concentrar en las áreas ocupadas con mayores riesgos. A nivel federal, se considera necesario profundizar en los diagnósticos utilizando métodos unificados, realizar pronósticos sobre los cambios climáticos y elaborar planes sectoriales de mitigación que consideren las particularidades de cada región costera, estableciendo además criterios para la licencia ambiental de proyectos que afecten la estabilidad de la línea costera.

Palabras-clave: Geografía Marina, Erosión Costera, Movilidad de la línea costera, Uso y actividades en la costa.



INTRODUÇÃO

A linha de costa é uma das feições mais dinâmicas do planeta e sua complexidade associa-se à sobreposição de processos continentais, atmosféricos e marinhos. Apresenta, via de regra, instabilidade e alterna períodos de avanço e de recuo. Sua sensibilidade e posição no espaço mudam constantemente em resposta a processos instantâneos ou lentos, nas várias escalas de tempo. Diante disso, a mobilidade negativa da linha de costa, em direção ao continente, se destaca na medida em que representa um risco para as áreas urbanas adjacentes.

O desenvolvimento da urbanização na orla marítima é notório e raramente respeita os limites ativos dos processos costeiros como a ação de ondas, marés e dinâmica de movimentação natural das praias e das dunas costeiras (MUEHE, 2005). A urbanização que avança em direção ao litoral, sobretudo nas grandes cidades, pode transformar-se em problema quando impactos negativos da erosão costeira ocorrem. De acordo com Bulhões (2020) alguns exemplos são a destruição e a perda de infraestrutura pública e privada, perda de território, supressão de habitats, comprometimento dos serviços ecossistêmicos, redução da biodiversidade, aumento potencial da vulnerabilidade física pela ação destrutiva das ondas, impactos negativos nas atividades econômicas, desvalorização dos imóveis à beira mar e o comprometimento de recursos públicos para projetos de contenção.

No Brasil, dois importantes diagnósticos sobre a erosão costeira em escala nacional foram organizados por Muehe (2006a e 2018). De fato, há um desafio claro não apenas em razão das dimensões continentais da linha de costa brasileira, mas também diante da diversidade ecossistêmica e climática. No primeiro diagnóstico (MUEHE, 2006a), identificou-se que as modificações na posição da linha de costa decorrem em grande parte pela escassez de sedimentos provocado pelo esgotamento das fontes e, na medida que aumenta a ocupação do litoral, aumentam também os relatos e registros sobre erosão. Além disso, Muehe (2006b) resume que os maiores problemas de erosão no litoral brasileiro estão relacionados à intervenção humana no fluxo de sedimentos ao longo da costa e também a dinâmica morfológica junto à foz dos grandes rios.

No segundo diagnóstico (MUEHE, 2018) atestou-se que aproximados 40% do perímetro litorâneo brasileiro encontra-se sob a ação de processos erosivos e que de forma generalizada os resultados mostram que a faixa litorânea das regiões Norte e parte do Nordeste o percentual em erosão é de 60% a 65% e no litoral das regiões Sudeste e Sul do país esse percentual é consideravelmente inferior, cerca de 15%.

Especificamente, tais diagnósticos segmentaram o litoral brasileiro a partir dos dezessete estados litorâneos e seguiram um roteiro básico englobando uma descrição fisiográfica de aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos, oceanográficos, incluindo as direções modais do transporte litorâneo de sedimentos e, como resultado, foram produzidos mapas classificando os trechos do litoral brasileiro em termos de erosão, estabilidade e progradação.



De uma forma geral, encontrou-se que trechos em erosão predominam frente a trechos em progradação. A erosão encontra-se mais concentrada em praias arenosas, seguido de falésias e estuários. No entanto, não foi utilizada uma ferramenta única ou métodos e escalas padronizadas para tais diagnósticos, o que dificulta e inviabiliza uma análise comparativa entre as unidades da federação e também entre os diagnósticos realizados em um intervalo de aproximadamente dez anos e outros que, porventura, venham a ser produzidos.

É exatamente nesta lacuna que este artigo visa contribuir. A recente disponibilização de uma base de dados global sobre as taxas de mobilidade positiva (acrecção), neutra (estabilidade) ou negativa (erosão) com informações espaçadas a cada 500m, por todo o perímetro litorâneo do país, cobrindo o intervalo entre os anos de 1984 e 2016, baseada em análises automatizadas de imagens de satélite (LUIJENDIJK *et al.*, 2018), permitiu localizar e quantificar os trechos em erosão no litoral brasileiro e identificar correlações entre os padrões de uso e ocupação da linha de costa para verificar a existência de possíveis padrões e ocorrências não claramente detectados nos diagnósticos supracitados.

OBJETIVOS

O objetivo geral foi investigar a relação da distribuição da erosão costeira com o padrão de ocupação, usos e atividades nos municípios defrontantes com o mar e analisar os resultados das implicações socioambientais desta combinação na atualidade. Já os objetivos específicos enquadram-se em: a) análises das bases de dados que compreendem a distribuição dos padrões de ocupação, usos e atividades na zona costeira; b) análise da base de dados que indica a distribuição da erosão costeira no litoral brasileiro; c) compreender a relação global entre a erosão costeira e a ocupação da linha de costa na escala nacional.

ÁREA DE ESTUDO

O litoral brasileiro de acordo com o IBGE (2011) apresenta ampla diversidade geológica, geomorfológica e oceanográfica. Alonga-se entre as latitudes 4ºN (Cabo Orange, Amapá) e 34ºS (Arroio Chuí, Rio Grande do Sul) e apesar da maior parte das estimativas apontarem algo entre 6.000 e 10.000 km de extensão (MUEHE, 2003), quando considerados os detalhes de ilhas, baías e demais reentrâncias tal estimativa chega a quase 20.000 km (BRASIL, 2022). É margeado no continente por extensos planaltos continentais compostos por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas e por bacias sedimentares paleozóicas. Na margem oceânica, é acompanhado por uma plataforma continental de largura variável que se alarga em direção ao norte (MUEHE, 2010). Ao longo dessa extensão e devido a fatores geo-bio-físicos são observadas paisagens bem distintas que se relacionam com padrões climáticos e oceanográficos também peculiares (FERNANDEZ *et al.* 2019).



MATERIAIS E MÉTODOS

A estratégia metodológica deste trabalho, sobretudo em virtude do recorte para o litoral nacional e visando atingir os objetivos específicos definidos, foi reunir uma base de dados que puderam ser correlacionados para verificação de que se existem elementos naturais e antrópicos que contribuem para o deslocamento erosivo da posição da linha de costa, há regionalmente uma variação na contribuição que cada um deles exerce.

Para tal, a primeira etapa consistiu na análise exploratória de dados (AED) o que permite examinar os dados previamente e organizá-los, para tanto foi utilizada a plataforma para ferramentas estatísticas *RStudio* (versão 2022.12.0+353) e um conjunto de pacotes programáticos vinculados para as análises gerais visando obtenção de um entendimento básico dos dados e das relações existentes entre as variáveis analisadas e ferramentas de geoprocessamento para as análises espaciais em ambiente SIG (ArcMap 10.8). A segunda etapa foi a análise descritiva dos dados que permitiu a organização e a síntese de forma a obter as informações necessárias do conjunto de dados para responder aos objetivos.

O conjunto de dados disponíveis nesta análise partiram inicialmente do recorte espacial dos 280 Municípios Defrontantes com o Mar (MDM) que são um subconjunto dos municípios inseridos na faixa terrestre da zona costeira brasileira. Tal listagem dos MDM é definida e foi republicada pelo IBGE em 2021 já com as atualizações nos limites municipais. É fundamentada pela seleção dos trechos de limites constantes no produto Malha Municipal do Brasil, que coincidem à linha costeira do oceano Atlântico. Programaticamente em ambiente R foram utilizados os pacotes *geobr*¹, *sf*² e *rgdal*³ para a manipulação destes dados espaciais e para a classificação de cada município dentro de cada um dos cinco compartimentos do litoral brasileiro, a saber: Norte, Nordeste, Oriental ou Leste, Sudeste e Sul.

Dados temáticos para análise dos padrões de ocupação no litoral brasileiro

Para a análise dos padrões de ocupação dos MDM foram reunidos dados recentes da estimativa populacional à nível municipal, situação da malha setorial intermediária e das classes de uso e cobertura da terra.

Foram compiladas informações populacionais no nível municipal da estimativa populacional de 2021. Todas as informações foram extraídas da base SIDRA⁴ do IBGE e programaticamente foram utilizados os pacotes *sidrar*⁵ para a extração automática dos dados e os pacotes *dplyr*⁶ e *expss*⁷ para a manipulação

¹ <https://cran.r-project.org/web/packages/geobr/index.html>

² <https://cran.r-project.org/web/packages/sf/index.html>

³ <https://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html>

⁴ Sistema IBGE de Recuperação Automática

⁵ <https://cran.r-project.org/web/packages/sidrar/index.html>

⁶ <https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html>

⁷ <https://cran.r-project.org/web/packages/expss/index.html>



estatística, cruzamento, análise dos dados. Foi então possível detectar informações na perspectiva geral e específica por compartimento litorâneo.

Já a malha setorial intermediária foi atualizada pelo IBGE em 2021 (IBGE, 2021) visando o recenseamento demográfico dos anos de 2022 e 2023. Não contempla informação estatística de população ou domicílio, mas, de acordo com o próprio instituto, pode subsidiar de modo eficaz a gestão e o planejamento em níveis municipal, estadual e regional e pesquisas variadas com forte componente espacial. A malha é compatível com escalas de 1:5.000 até 1:250.000 e os atributos disponibilizados incluem a situação do setor censitário, o que permite aprofundar e distinguir diferentes categorias de dispersão e aglomeração de domicílios no território, subsidiando uma classificação dos setores censitários. Para os MDM foram filtrados 79.296 setores censitários, o que permitiu gerar as classificações conforme a Tabela I.

Tabela 1. Classificação da situação de cada setor censitário referente à Malha Setorial de 2021

Código	Descrição
1	Área urbana com alta densidade de edificações
2	Área urbana com baixa densidade de edificações (inclui expansão urbana, novos loteamentos, áreas verdes desabitadas, etc.)
3	Núcleo urbano (inclui as antigas áreas urbanas isoladas e aglomerados rurais de extensão urbana da metodologia do Censo 2010)
5	Povoado (Aglomerado rural caracterizado pela existência de comércio e serviços)
6	Núcleo Rural (Aglomerado rural vinculado a um único proprietário, fazenda ou estabelecimento agropecuário)
7	Lugarejo (Aglomerado rural que não dispõe de comércio e serviços como o povoado)
8	Área rural (caracterizada pela dispersão de domicílios e estabelecimentos agropecuários)
9	Massa d'água (porções de água que por motivos operacionais foram isoladas em setor censitário)

Fonte: IBGE (2021)

Quanto aos dados de uso e cobertura da terra foram utilizados os resultados de 2020 do monitoramento publicados pelo IBGE (2022). Tal produto permite a detecção das alterações nas formas de organização do espaço e contribui para o entendimento da dinâmica de ocupação do território nacional, especialmente a partir do avanço de atividades agrícolas e pecuárias, além do uso por funções urbanas (IBGE, 2022). A resolução espacial corresponde a grade territorial estatística do IBGE (2016) e corresponde a 1,0 km². As classes definidas pelo IBGE para este produto são doze, conforme apresentado pela Tabela II.



Tabela 2. Classes de uso e cobertura da terra conforme definidas pelo IBGE

Código	Classe	Descrição resumida
1	Área artificial	área onde predominam superfícies antrópicas não agrícolas
2	Área agrícola	área caracterizada por lavouras temporárias, semiperenes e permanentes
3	Pastagem com manejo	área destinada ao pastoreio do gado e outros animais com vegetação herbácea cultivada
4	Mosaico de ocupações em área florestal	área caracterizada por ocupação mista de área agrícola, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes florestais
5	Silvicultura	área caracterizada por plantios florestais de espécies exóticas ou nativas como monoculturas
6	Vegetação florestal	área ocupada por florestas
7	Área úmida	área caracterizada por vegetação natural herbácea ou arbustiva permanente ou periodicamente inundada
8	Vegetação campestre	área caracterizada por formações campestres
9	Mosaico de ocupações em área campestre	área caracterizada por ocupação mista de área agrícola, pastagem e/ou silvicultura associada ou não a remanescentes campestres
10	Corpo d'água continental	inclui todas as águas interiores, como rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares
11	Corpo d'água costeiro	inclui as águas inseridas nas 12 milhas náuticas conforme a Lei 8.617/93
12	Área descoberta	inclui locais sem vegetação, como afloramentos rochosos, penhascos, recifes e terrenos com processos de erosão ativos

Fonte: IBGE (2022)

Tais dados da malha setorial intermediária e de uso e cobertura da terra foram manipulados utilizando os pacotes programáticos *sf* e *reshape*⁸ para as análises e transformações espaciais cobrindo os ~250 mil km² dos MDM. A análise foi feita utilizando também o pacote programático *stats*⁹ para análises estatísticas e tais permitiram o cálculo de dados quantitativos acerca das áreas e dos percentuais e também permitiram contribuir para a interpretação visando atingir os objetivos específicos do trabalho.

⁸ <https://cran.r-project.org/web/packages/reshape/index.html>

⁹ <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/O0Index.html>



Base de dados para análise dos padrões de mobilidade da linha de costa

Para compor os resultados sobre a mobilidade da linha de costa foram requeridos e extraídos os dados recortados apenas para o litoral brasileiro, e tais constituem uma base de dados com 31.774 perfis que incluem informações diversas como localização, identificação de arenoso ou não-arenoso, deslocamento positivo ou negativo em metros, taxa de mobilidade em metros por ano, quantidade de posições da linha de costa detectados por perfil, erro médio, filtros, dentre outros.

Tal base de dados foi produzida pelo instituto de pesquisa holandês Deltares e publicada por Luijendijk *et al.* (2018). Os autores utilizaram o acervo de imagem dos satélites *Landsat* entre 1984 e 2016, para calcular os deslocamentos da linha de costa na escala global por meio de rotinas automatizadas de processamento digital de imagens. Com isso, foram detectadas a posição da linha de costa e foram também produzidos perfis (transectos) espaçados a cada 500 metros o que possibilitou acompanhar o deslocamento da posição da linha de costa, no geral duas vezes ao ano, e calcular as tendências positivas (acrecção em direção ao oceano) e negativas (erosão em direção ao continente) de tal deslocamento e ainda quantificá-lo por meio de taxas.

As taxas podem ser positivas com mobilidade da posição da linha de costa acima de 0,5 metro por ano, em direção ao mar, representando acreção. As taxas podem ser negativas com mobilidade da posição da linha de costa abaixo de -0,5 metro por ano, em direção ao continente, representando erosão. As taxas que representam estabilidade indicam que a mobilidade da posição da linha de costa, seja em direção ao mar ou em direção ao continente, situa-se entre 0,5 e -0,5 metro por ano.

Especificamente sobre os perfis em erosão, Luijendijk *et al.* (2018) propuseram ainda uma subclassificação que indicaria graus de intensidade da tendência erosiva, a saber: Erosão (fraca): taxas entre -0,5 e -1,0 metros por ano; Erosão Intensa: taxas entre -1,0 e -3,0 metros por ano; Erosão Severa: taxas entre -3,0 e -5,0 metros por ano; Erosão Extrema: taxas inferiores a -5,0 metros por ano.

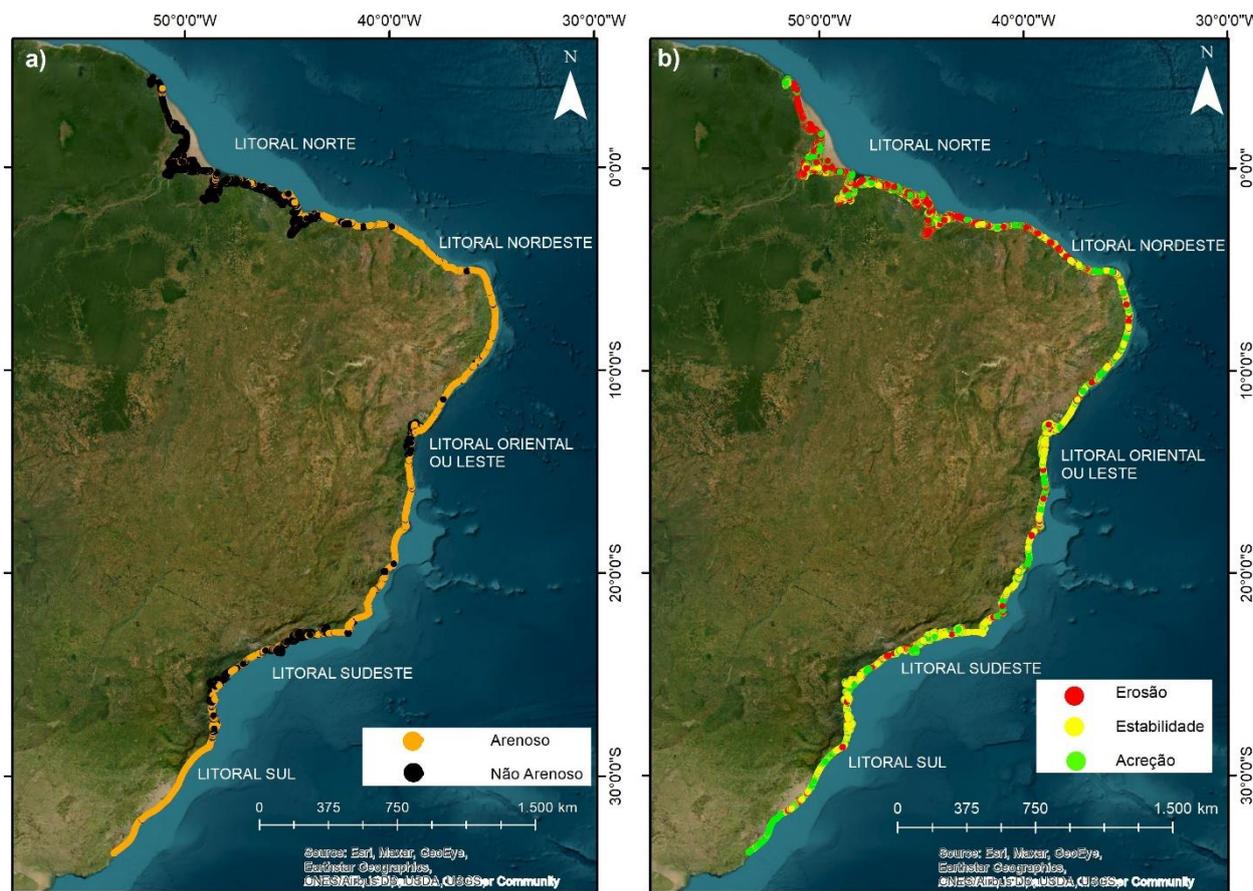
A análise programática desses dados foi realizada utilizando os pacotes *dplyr* para a correlação dos dados de erosão com os recortes espaciais dos MDM e com os dados temáticos de população, malha setorial e uso e cobertura do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do total de quase 32 mil perfis analisados ao longo da linha de costa brasileira, cerca de 40% correspondem a segmentos arenosos que podem ser caracterizados como praias e ~60% correspondem a segmentos não arenosos que podem ser detectados genericamente como áreas litorâneas rochosas ou lamosas (Figura 2a). Adicionalmente, analisando os dados de mobilidade da linha de costa (Figura 2b) verifica-se que o litoral brasileiro se apresenta estável em ~39% dos perfis, em acreção em ~29% dos perfis e em erosão ao longo de ~32% dos perfis analisados. Considerando a subclassificação proposta para os perfis com taxas de

mobilidade negativas, cabe destacar que a erosão extrema ocorre em 11,2% dos perfis no litoral do país, seguido dos perfis em erosão intensa (9,7%) e erosão severa (3,9%).

Figuras 2. Classificação dos perfis entre arenosos e não arenosos ao longo do litoral brasileiro (a) e padrões detectados sobre a mobilidade da linha de costa (b).



Fonte: Elaborado pelos autores com dados do Deltas.

No entanto verificam-se também discrepâncias quando se consideram os compartimentos distintos do litoral. No litoral Norte apenas 6% dos perfis representam segmentos arenosos, no litoral Nordeste, tal percentual de segmentos arenosos sobe para 45%, no litoral Oriental ou Leste alcançam 68%, o que é bem superior ao do litoral Sudeste, que é de 32%. No litoral Sul, a faixa arenosa corresponde a 62%. Quanto aos dados de erosão ao longo dos compartimentos litorâneos a Tabela III mostra tais discrepâncias que destacam os litorais Norte e Nordeste onde a erosão predomina com 48,9% e 39,1% respectivamente, enquanto que taxas inferiores ocorrem nos litorais Oriental ou Leste (15,2%), Sudeste (15,6%) e Sul (10,6%).

Tabela 3. Tipologia dos perfis de mobilidade levantados para a linha de costa brasileira quanto às taxas de mobilidade.

Classificação dos Tipos de Perfis de Mobilidade da Linha de Costa	Linha de Costa Brasileira (total e %)	Litoral Norte (total e %)	Litoral Nordeste (total e %)	Litoral Oriental ou Leste (total e %)	Litoral Sudeste (total e %)	Litoral Sul (total e %)
Acréscimo > 0,5 m/ano	9.147 (28,8%)	529 (29,8%)	2.899 (26,1%)	1.114 (28,2%)	998 (27,2%)	1.531 (35,6%)
Estabilidade entre 0,5 e -0,5 m/ano	12.376 (39,0%)	8.209 (21,3%)	3.869 (34,8%)	2.231 (56,5)	2.100 (57,2%)	2.315 (53,8%)
Erosão entre -0,5 e -1,0 m/ano	2.366 (7,4%)	573 (6,6%)	935 (8,4%)	307 (7,8%)	329 (9,0%)	222 (5,1%)
Erosão Intensa entre -1,0 e -3,0 m/ano	3.090 (9,7%)	1.139 (13,0%)	1.406 (12,6%)	201 (5,1%)	165 (4,5%)	179 (4,2%)
Erosão Severa entre -3,0 e -5,0 m/ano	1.232 (3,9%)	495 (5,7%)	648 (5,8%)	51 (1,3%)	18 (0,5%)	20 (0,5%)
Erosão Extrema < - 5,0 m/ano	3.563 (11,2%)	2.065 (23,6%)	1.361 (12,2%)	42 (1,1%)	61 (1,7%)	34 (0,8%)

Fonte: Dados Deltares, 1984- 2016.

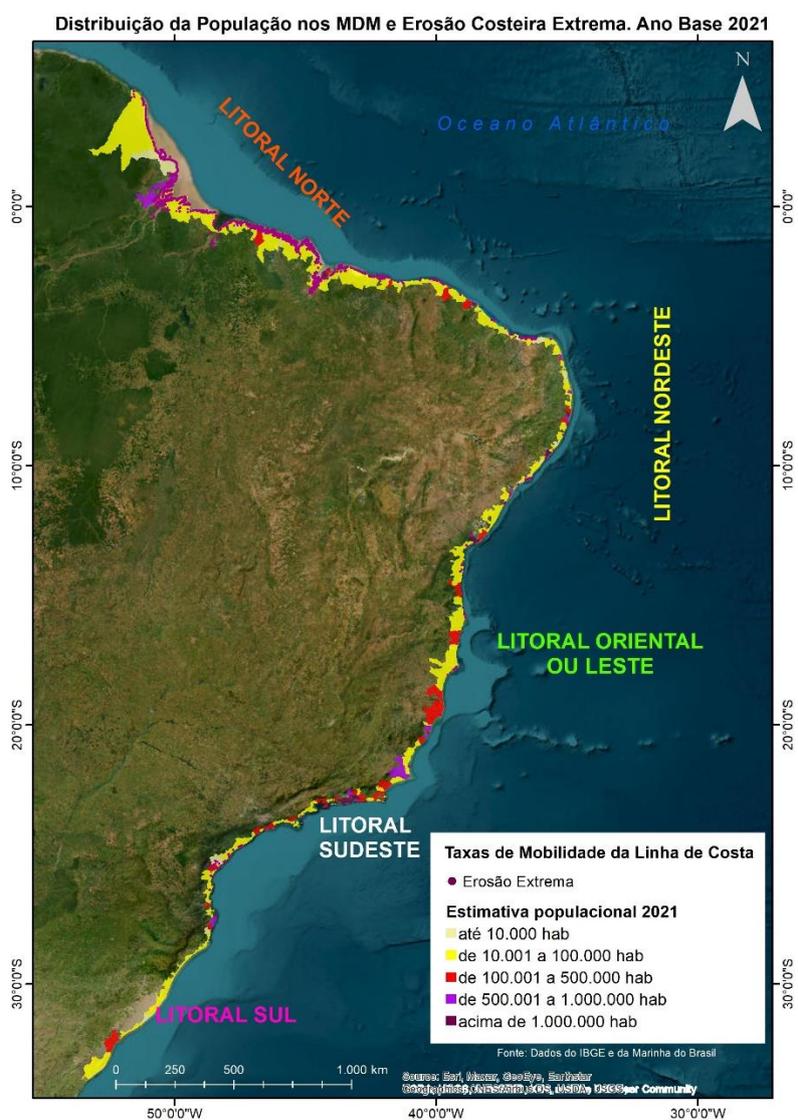
Dos 10.251 ou 32% do total dos perfis onde a taxa de mobilidade da linha de costa é negativa, ou em erosão, ao longo do litoral brasileiro, verificou-se que tais estão distribuídos ao longo de 245 (ou 87,8%) dos 280 MDM. No total residem atualmente aproximadamente 41,2 milhões de pessoas em municípios onde a erosão costeira de uma forma geral é detectada.

Considerando as subclassificações das taxas de mobilidade negativa, os perfis classificados como em erosão intensa (entre -1,0 e -3,0 metros por ano) distribuem-se ao longo de 74,9% (n=209) dos MDM e nestes residem atualmente ~34,7 milhões de pessoas. Já sobre os perfis em erosão severa (taxas entre -3 e -5 metros por ano), os mesmos somam 1.232 e estão distribuídos por 44,4% (n=124) dos MDM e a população residente nestas condições é de 19,4 milhões de pessoas. Por fim, considerando os perfis em erosão extrema, onde as taxas de recuo da linha de costa são superiores a 5 metros por ano, os mesmos somam 3.563 e distribuem-se ao longo de 39,8% (n=111) dos MDM e isso corresponde a ~17,5 milhões de residentes.

Considerando ainda o detalhamento da erosão extrema com os dados de população (Figura 3), de todos os municípios ao longo da MDM menores que 10 mil habitantes, apenas 10 estão expostos à taxas de

erosão extrema e a população nesses municípios soma 66.409 habitantes. Nos municípios entre 10 e 100 mil habitantes, 105 deles estão expostos às áreas com erosão costeira extrema e a população residente nestes municípios chega a 3,2 milhões de habitantes. Dos municípios entre 100 mil e 500 mil habitantes, apenas 14 deles apresentam setores litorâneos onde a erosão é extrema e a população nestes soma 2,8 milhões de habitantes. Já nos municípios maiores onde a população varia entre 500 mil e 1 milhão de habitantes, apenas 5 deles apresentam segmentos litorâneos expostos à erosão extrema e a população somada chega a 2,7 milhões de habitantes. Das oito maiores cidades da zona costeira brasileira, com população acima de 1 milhão de habitantes, 4 delas apresentam segmentos litorâneos onde registra-se erosão extrema e a soma da população residente nestas cidades supera 10 milhões.

Figura 3. Distribuição das classes de população residente ao longo dos MDM e sobreposição das posições detectadas com taxas de erosão costeira extrema.



Fonte: Elaborado pelos autores com dados do Deltares

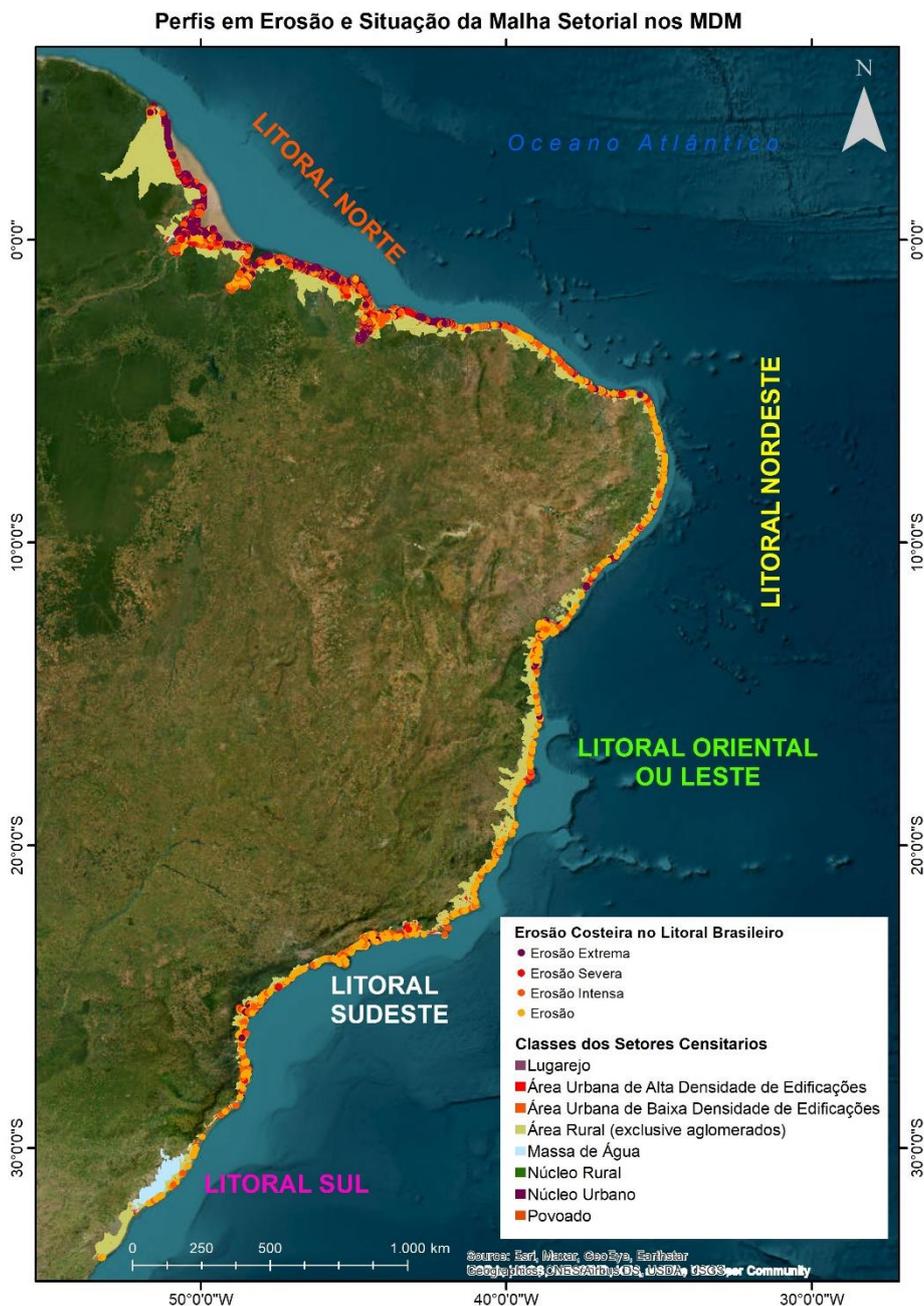


Os perfis em erosão no litoral brasileiro, quando combinados com a situação da malha setorial da porção litorânea (Figura 4), permitem verificar que tais ocorrem majoritariamente em áreas rurais (86,6%), seguido da ocorrência em áreas urbanas cuja soma das áreas com alta densidade (4,6%) e baixa densidade (3,7%) de edificações, mais núcleos urbanos (1,0%) e povoados (0,9%) chega a 10,2%. A erosão ocorre ainda em 3% de áreas caracterizadas enquanto núcleos rurais.

Considerando as subclassificações, a erosão intensa ocorre majoritariamente em áreas rurais (86%) e somando as áreas urbanas, sejam povoados (0,8%), núcleos urbanos (1,4%) ou áreas de baixa (4,5%) ou alta (5,2%) densidade de edificações, o total chega a aproximados (12%). Nas áreas onde a ocorrência da erosão costeira é considerada severa, 90,2% é em áreas rurais. Os percentuais em áreas urbanas com alta (3,4%) ou baixa (2,2%) densidade de edificações somado aos povoados (1,4%) e núcleos urbanos (0,5%) alcança 7,5%. Já as áreas onde a erosão é considerada extrema, 72,6% ocorrem em áreas rurais e nas áreas urbanas de alta densidade de edificações o total é de 11,4%, seguido das áreas urbanas com baixa densidade de edificações (9,9%) e núcleos urbanos (1,8%).

Regionalmente destaca-se que no Litoral Norte, principal recorte litorâneo brasileiro em erosão, os perfis onde tal fenômeno foi detectado estão altamente concentrados em áreas rurais (96,7%), seguidos por 1% que se concentram junto às áreas urbanas com alta densidade de edificações. No litoral Nordeste, os perfis em erosão também se encontram majoritariamente concentrados em áreas rurais (85,7%), seguidos por 4% em áreas urbanas com baixa densidade de edificações. Para os municípios do litoral Oriental ou Leste tal erosão está concentrada em 71,4% também em áreas rurais, seguido do percentual de 9,8% referente à classe área urbana de alta densidade de edificações. No litoral Sudeste o padrão se repete e a erosão está concentrada 54,5 % em áreas rurais, seguido do percentual de 12,2 % referente à classe área urbana de baixa densidade de edificações. No litoral Sul tal erosão também está concentrada 61,8% nas áreas rurais, seguido do percentual de 10,3 % referente à classe área urbana de baixa densidade de edificações.

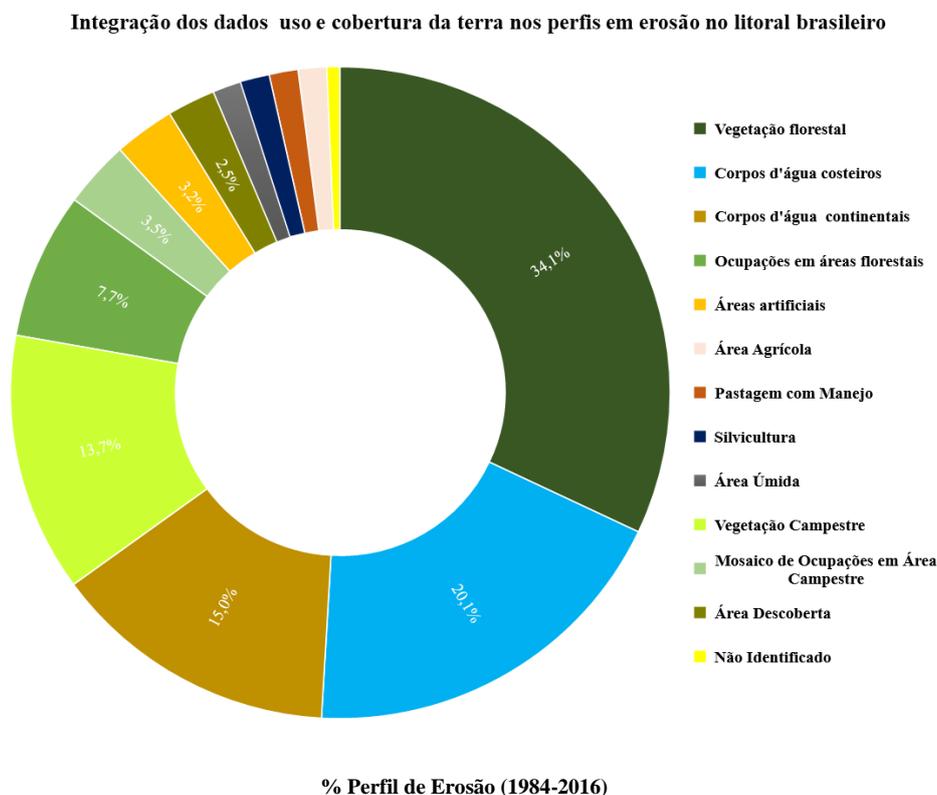
Figura 4. Distribuição da situação da malha setorial na MDM e sobreposição dos dados de erosão costeira no litoral brasileiro.



Por fim, quando se considera os dados de uso e cobertura da terra ao longo do litoral brasileiro, os dados dos perfis em erosão permitem identificar as tipologias de uso mais próximas. O gráfico da Figura 5 apresenta a distribuição dos perfis em erosão relacionados aos tipos de uso e cobertura mais próximos e, a partir disso, verifica-se que o maior percentual das áreas em erosão estão relacionadas a ocorrência da cobertura por vegetação florestal (34,1%), destacando-se possivelmente o maior peso do litoral Norte na composição destes resultados. Em segundo e terceiro lugar as áreas em erosão relacionam-se aos corpos

d'água sejam eles costeiros (20,1%) ou continentais (15%). As ocupações em áreas florestais aparecem com 7,7% e as áreas artificiais com 4,2%.

Figura 5. Relação entre os perfis em erosão e as classes de uso e cobertura da terra ao longo do litoral brasileiro.



Fonte: Elaborado pelos autores com dados IBGE - 2000- 2020 e Instituto Deltares 1984- 2016.

Regionalmente, os padrões de uso e cobertura da terra em áreas com ocorrência de erosão costeira revelam que para o litoral Norte as classes de uso predominantes são vegetação florestal (45%) seguido de corpo d'água continental (19,2%) e vegetação campestre (12,7%). As áreas artificiais apresentam apenas 0,8% e as áreas de ocupação em áreas florestais 7,5%. Já no litoral Nordeste as classes predominantes nas áreas em erosão são também vegetação florestal (34,6%), seguido pelos corpos d'água costeiros (17,1%) e continentais (15,9%). As áreas com ocupações sejam elas artificiais (3,5%), ou em áreas florestais (8,1%) ou campestres (5,1%) aparecem de forma secundária.

No litoral oriental ou leste, as classes de uso e cobertura da terra predominantes junto aos perfis em erosão são os corpos d'água costeiros (26,7%) seguido das áreas de vegetação sejam elas florestais (23,3%) ou campestres (15,2%). As áreas artificiais correspondem a (7,3%) e as ocupações em áreas florestais (9,6%) ou campestres (6,1%) aparecem com percentuais que somados chegam a 23%. Por fim nos litorais Sudeste e Sul as classes corpo d'água costeiro e vegetação florestal continuam a dominar a correlação entre a ocorrência de perfis e a cobertura do solo com, respectivamente, 37,4% e 28,9% para o litoral Sudeste e 27,4% e 24,2% para



o litoral Sul. As áreas artificiais aparecem com 9,4% no litoral Sudeste e 5,7% para o litoral Sul e as ocupações em áreas florestais são de 5,6% e 6,8% respectivamente.

CONCLUSÕES

Os resultados aqui apresentados na forma de uma análise exploratória de dados sobre taxas de mobilidade e ocupação do litoral brasileiro buscou atender aos objetivos de uma caracterização geral e quantitativa dos segmentos litorâneos cuja mobilidade é negativa (*erosão*) na escala nacional, uma vez que não há resultado que aponte essas características baseadas em um método unificado. Apesar de diversas análises qualitativas das causas, consequências e impactos da erosão costeira (MUEHE, 2005, 2006, 2018; SHORT; KLEIN, 2016), o cruzamento de dados que revelem os padrões de uso e de ocupação de áreas litorâneas permitiram espacializar a ocorrência de áreas com tendências erosivas, sejam mais brandas (*erosão*) ou mais intensas (*erosão intensa, severa e extrema*).

Neste contexto, encontrou-se que 32% dos segmentos litorâneos brasileiros encontram-se em erosão e que existe um forte componente zonal que aponta praticamente que a metade do litoral Norte tem tendências erosivas (48,9%) e apenas 10% do litoral Sul encontra-se sob tal condição. Os segmentos em erosão no litoral Nordeste somam 39% enquanto que nos litorais Oriental ou Leste e Sudeste do país os percentuais são ~15%.

Conforme as informações obtidas a partir do cruzamento de dados de padrões de uso e ocupação da zona costeira e de dados de erosão, constatou-se que 87,8% dos municípios defrontantes com o mar (MDM) estão expostos à erosão costeira, afetando cerca de 41,2 milhões de pessoas. Considerando a situação mais crítica, verificou-se que os perfis em erosão extrema, onde as taxas de recuo da linha de costa são superiores a 5 metros por ano, distribuem-se ao longo de 39,8% dos MDM e tais municípios abrigam ~17,5 milhões de residentes. No entanto, o litoral brasileiro é majoritariamente rural, e tais áreas correspondem a ~87% do território dos MDM. O principal tipo de cobertura é a Vegetação florestal mesmo quando se consideram apenas as localidades em erosão.

Evidencia-se portanto que os segmentos litorâneos do país onde há tendência à erosão costeira em áreas urbanizadas ou áreas com algum tipo de ocupação são localizados (ex. ~1% no litoral Norte, ~4% no litoral Nordeste, ~10% no Litoral Oriental ou Leste, ~12% no litoral Sudeste e ~10% do litoral Sul), mas não menos relevantes uma vez que estamos tratando majoritariamente de municípios menores onde a densidade de ocupação é baixa e usualmente os planos para contenção da erosão costeira são inexistentes. A boa notícia é que o foco das análises de erosão costeira visando a mitigação dos seus impactos pode ser concentrado nas áreas ocupadas e com maiores riscos.

A nível federal, considera-se necessário aprofundar diagnósticos com métodos unificados, prognósticos frente às mudanças climáticas e em planos setoriais de mitigação considerando as



particularidades de cada região costeira e estabelecer critérios para o licenciamento ambiental de empreendimentos (inclusive obras costeiras) que afetem a estabilidade da linha de costa em seu entorno, sobretudo em áreas com algum tipo de ocupação. Por fim, é fundamental monitorar constantemente as medidas adotadas para garantir sua efetividade e fazer periodicamente os ajustes necessários.

AGRADECIMENTOS

M.S. agradece à FAPERJ pela concessão de bolsa de mestrado e ao PPG-UFF pelas diárias para participação em eventos. E.B. agradece Etiënne Kras (Deltares) pela disponibilização dos dados brutos para estas análises.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Economia. **Manual Projeto Orla**. Brasília: Ministério da Economia, 2022. 324p.
- BULHÕES, E. **Erosão costeira e soluções para a defesa do litoral**. In MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) Geografia Marinha oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. p. 655-6. ISBN-65-25 1-0-0. Rio de Janeiro: PGGM, 2020.
- FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B.; BARBOZA, E. G; DILLENBURG, S. R.; ROSA, M. L. C. C.; ANGULO, R. J .A.; OLIVEIRA, L. H. S.; DOMINGUEZ, J. M. L. Natural landscapes along brazilian coastline. *In*: SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; PAISANI, J. C. (org.). **The Physical Geography of Brazil: Environment, Vegetation and Landscape**. Suíça: Springer Nature, 2019. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9>, acesso em fev. 2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Setorial Intermediária**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=sobre>, acesso em novembro 2022
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil : 2018/2020** / IBGE, Coordenação de Meio Ambiente. - Rio de Janeiro : IBGE, 2022. 39 p. : il. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101966.pdf>, acesso em maio 2022.
- LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. **The state of the world 's beaches**. Nature Scientific Reports, [s. l.], v. 8, n. 6641, jan./dez. 2018.
- MUEHE, D. O litoral Brasileiro e sua compartimentação. *In*: CUNHA, S. B. GUERRA, A. J. T. (org.). **Geomorfologia do Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 273-349.
- MUEHE, D. Beach Morphodynamic research in Brazil: evolution and applicability. **Journal of Coastal Research**, [s. l.], v. 38, p. 43-48, jan./dez. 2003.
- MUEHE, D. Aspectos Gerais da Erosão Costeira no Brasil. **Revista Mercator**, v. 4, p. 1-110, jan./dez. 2005.
- MUEHE, D. (org.) **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. 1. ed. Brasília: MMA, 2006a. 46 p.



MUEHE, D. **Erosion in the brazilian coastal zone: An overview.** Journal of Coastal Research, SI 39, n.1, p.43-48, 2006b

MUEHE, D. Brazil. *In:* BIRD, E.C.F (org.), **Encyclopedia of the World's Coastal Landforms.** Suíça: Springer Science & Business Media, 2010.

MUEHE, D. (org.). **Panorama da Erosão Costeira no Brasil.** 1. ed. Brasília: MMA, 2018. 5 p.

SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. **Brazilian beach systems.** *In:* FINKL, C. W. (org.). Coastal Research Library. Suíça: Springer, 2016.

SILVEIRA, J.D. **Morfologia do Litoral.** *In:* AZEVEDO, A. (ed.) Brasil, a Terra e o Homem. São Paulo, 1964

TESSLER, M.G.; GOYA, S.C. **Processos condicionantes do litoral brasileiro.** Revista do Departamento de Geografia da USP 17: 11-23, 2005