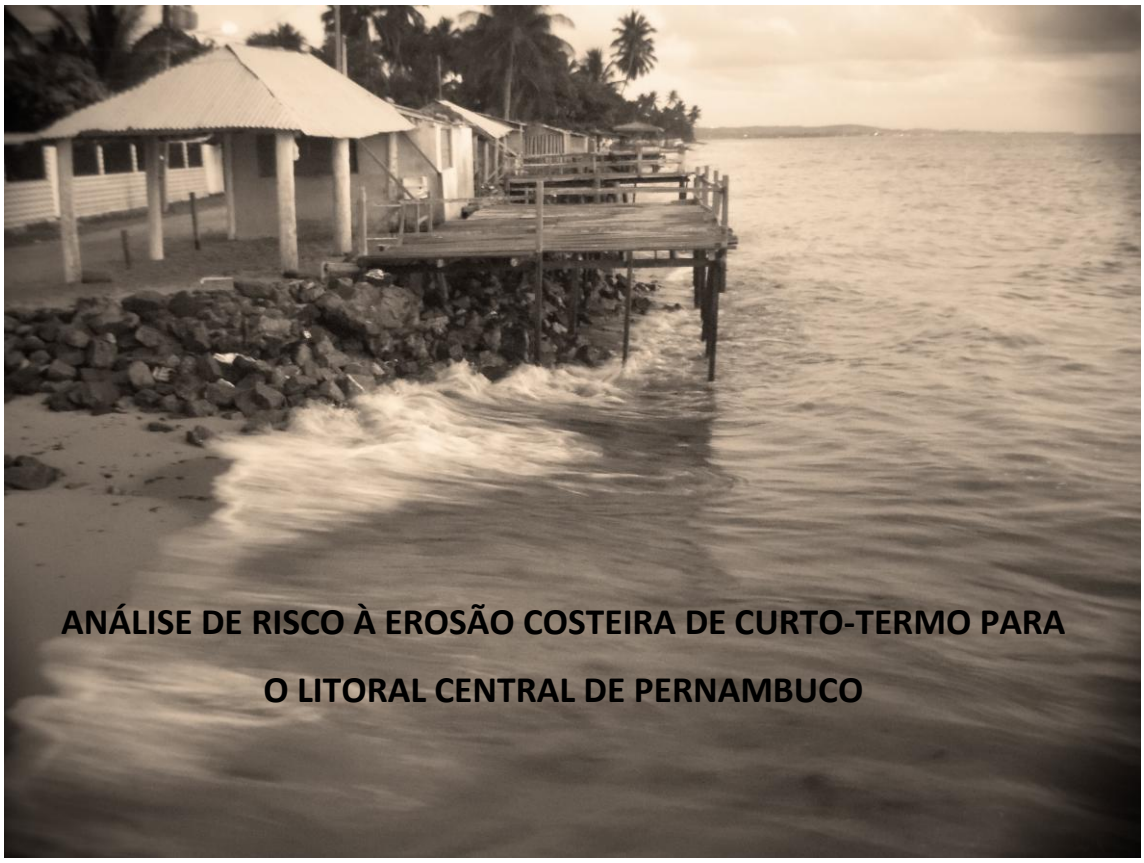
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

DANIELE LAURA BRIDI MALLMANN



ANÁLISE DE RISCO À EROSÃO COSTEIRA DE CURTO-TERMO PARA O LITORAL CENTRAL DE PERNAMBUCO

RECIFE

2016

DANIELE LAURA BRIDI MALLMANN

ANÁLISE DE RISCO À EROSÃO COSTEIRA DE CURTO-TERMO PARA O LITORAL CENTRAL DE PERNAMBUCO

TESE APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM OCEANOGRAFIA.

ORIENTADORA:

PROFA. DRA. TEREZA CRISTINA MEDEIROS DE ARAÚJO

CO-ORIENTADOR:

PROF. DR. ENRIQUE ANDRÉS LÓPEZ DROGUETT

RECIFE

2016

Catalogação na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

M254a Mallmann, Daniele Laura Bridi.
Análise de risco à erosão costeira de curto-termo para o litoral central de
Pernambuco / Daniele Laura Bridi Mallmann. - 2016.
158 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo.
Cooorientador: Prof. Dr. Enrique Andrés López Droguett.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2016.
Inclui Referências e Apêndice.

1. Oceanografia. 2. Risco. 3. Erosão costeira. 4. Gerenciamento costeiro. 5. Praias arenosas. I. Araújo, Tereza Cristina Medeiros de. (Orientadora). II. Droguett, Enrique Andrés López. (Coorientador). III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.) BCTG/2016-299

DANIELE LAURA BRIDI MALLMANN

ANÁLISE DE RISCO À EROSÃO COSTEIRA DE CURTO-TERMO PARA O LITORAL CENTRAL DE PERNAMBUCO

Tese apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Oceanografia.

Tese defendida e aprovada em 26 de agosto de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo – Orientadora

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Profa. Dra. Monica Ferreira da Costa

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Profa. Dra. Dóris Regina Aires Veleda

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Venerando Eustáquio Amaro

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Prof. Dr. Márcio das Chagas Moura

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a elaboração desta tese:

À minha família, pelo apoio incondicional, sob todas as formas possíveis e sem o qual a realização desta e de outras etapas não teria sido possível.

À minha orientadora, Profa. Dra. Tereza Araújo e ao meu co-orientador, Prof. Dr. Enrique Droguett, pelos ensinamentos, paciência e compreensão dispensados ao longo dos anos do curso.

Aos professores, funcionários e colegas do Programa de Pós-graduação em Oceanografia (PPGO), em especial: à Profa. Dra. Dóris Veleda, pela valiosa ajuda com o tratamento das séries; ao Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira, pelo acesso aos dados de ondas; ao Prof. Dr. Moacyr Araújo, por ter me inserido no universo do CEERMA e não ter me deixado desistir das ideias que nortearam esta tese; e à funcionária Myrna Lins, pela solicitude e competência de sempre ao ajudar os alunos do PPGO com questões administrativas.

A todos os amigos, colegas e professores que, entre conversas, cafés, dúvidas e pitacos, contribuíram informal e muitas vezes virtualmente com a elaboração da tese, em especial ao Dr. Thiago Reis, pela ajuda com a padronização das Referências.

Às bancas de qualificação e defesa, que aceitaram contribuir para o aprimoramento do estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa durante os primeiros anos de Doutorado.

Ao Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), pela disponibilização das séries de marés.

Ao Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA), que por meio do Projeto "Transferência de metodologias e ferramentas de apoio à gestão do litoral brasileiro" realizado em parceria com o Instituto de Hidráulica da Universidade da Cantabria (Espanha), viabilizou a difusão do Sistema de Modelagem Costeira (SMC) e a participação nos treinamentos necessários à sua utilização.

Às várias famílias adotivas recifenses, em especial às famílias Amorim e Reis, pelos momentos agradáveis e por todo o suporte emocional.

Aos meus colegas de trabalho que se tornaram amigos, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) - em especial do Laboratório de Apoio Didático Multiusuário (LADIM) - e do Porto de Suape, por tornarem mais leve e agradável a árdua tarefa de conciliar as jornadas diárias de trabalho com as atividades do Doutorado. E às respectivas chefias, por permitirem e compreenderem minha ausência por inúmeras vezes para atender às demandas acadêmicas.

Aos amigos daqui e de longe, por me lembrarem sempre que nem só de matrizes de risco se faz a vida.

"Onde estão os Riscos?

no Futuro ... que pode ser duvidoso e nos forçar a mudanças...

nas Mudanças ... que podem ser inúmeras e nos forçam a decisões...

nas Decisões ... que podem não ser as mais corretas..."

(Walter de Abreu Cybis, Análise de Risco)

"A ideia revolucionária que define a fronteira entre os tempos modernos e o passado é o domínio do risco: a noção de que o futuro é mais do que um capricho dos deuses e de que homens e mulheres não são passivos ante a natureza. Até os seres humanos descobrirem como transpor essa fronteira, o futuro era um espelho do passado ou o domínio obscuro de oráculos e adivinhos que detinham o monopólio sobre o conhecimento dos eventos previstos."

(Peter L. Bernstein, Desafio aos Deuses – A Fascinante História do Risco)

RESUMO

O litoral central do estado de Pernambuco concentra grande parte da população do Estado, além de apresentar grande atrativo comercial e turístico. Paralelamente, a região sofre com o processo erosivo tanto estrutural (de médio e longo-termo) quanto episódico (de curto-termo), o que acarreta danos e prejuízos em termos ambientais e socioeconômicos. Neste contexto, o presente estudo foi desenvolvido no intuito de abordar a problemática da erosão costeira nos municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, com especial atenção àquela associada à escala temporal de horas a dias, além de discutir suas causas. Adicionalmente, foi contemplado neste estudo o conceito do risco e a sua aplicação no domínio do gerenciamento costeiro. Para tanto, o estudo foi dividido em quatro capítulos centrais (Capítulos 2, 3, 4 e 5), em consonância com os seus objetivos específicos. O primeiro deles (Capítulo 2), teórico, foi dedicado à elaboração do estado-da-arte dos estudos que abordam o tema "risco" aplicado à erosão costeira nas escalas local, regional e global. Entre os resultados, observou-se que tais estudos tem se avolumado ao longo do tempo e que ainda existem indefinições no que se refere ao conceito do risco, o qual nem sempre é aplicado segundo a métrica da equação que o descreve, na qual o risco é o produto entre a incerteza associada a um evento e suas consequências. O segundo (Capítulo 3) objetivou caracterizar o processo erosivo em curso na área de estudo e sua elaboração indicou que, embora as praias nos municípios contemplados sofram frequentemente com a erosão, o mesmo não necessariamente está relacionado à retração da linha de costa. Muitas vezes, tal processo é produto da ocupação inadequada dos setores da praia, a qual não permite que o sistema se ajuste diante de qualquer oscilação nas condições hidrodinâmicas. O terceiro capítulo central da tese (Capítulo 4) trata das forçantes associadas aos eventos de alta energia, os quais promovem episódios erosivos de curto-termo na região. Corroborando estudos anteriores, os resultados apontam para a contribuição do vento, em especial da intensificação da sua componente sul, bem como da maré, na ocorrência de tais eventos. As ondas, embora contribuam, apresentam menor importância. Finalmente, o Capítulo 5 apresenta uma análise de risco à erosão episódica simples e semi-quantitativa para duas praias do litoral de Paulista, município identificado como área crítica no que se refere à erosão. A abordagem metodológica procurou ser fiel à equação que descreve o risco e fez uso de dados pretéritos e de ferramentas computacionais acessíveis. Os resultados demonstraram que, mesmo diante de cenários frequentes, as praias não apresentam a resiliência necessária para se ajustar às oscilações energéticas impostas por ondas e níveis de água, sofrendo alterações consideráveis, em especial nas áreas mais ocupadas. Como considerações finais, pode-se dizer que o conceito do risco tem amplo potencial de aplicação ao gerenciamento costeiro, em especial no que se refere ao manejo da erosão costeira e, finalmente, que a manutenção da resiliência costeira é fundamental para a redução de riscos associados a este processo por meio da atenuação das suas consequências.

PALAVRAS-CHAVE: Risco. Erosão costeira. Gerenciamento costeiro. Praias arenosas.

ABSTRACT

The central coast of Pernambuco State concentrates much of the state's population, and present great commercial and tourist attraction. At the same time, the region suffers with coastal erosion in both time scales, structural (medium and long-term) and episodic (short-term), which causes damages in environmental and socioeconomic aspects. In this context, the present study was developed in order to aim the problem of coastal erosion in the cities of Paulista, Olinda, Recife and Jaboatão dos Guararapes, with special attention to that associated with the time scale of hours to days, besides discussing its causes. Additionally, it was considered in this study the concept of risk and its application in the field of coastal management. Therefore, the study was divided into four main chapters (Chapters 2, 3, 4 and 5), in consonance with their specific goals. The first of them (Chapter 2), theoretic, was dedicated to the development of state-of-art of studies addressing the topic "risk" applied to coastal erosion in local, regional and global scales. Among the results, it was observed that such studies has been increasing over time and that there are indeterminations as regards the risk concept, which is not always applied according to the metric of equation that describes it, in which risk is the product of the uncertainty associated with an event and its consequences. The second (Chapter 3) aimed to characterize the erosion process in progress in the study area and its development indicated that although the beaches in the covered municipalities often suffer from erosion, it is not necessarily related to the shoreline retreat. Often, such a process is a product of inadequate occupation of the beach areas, which does not allow the system to fit on any fluctuation in hydrodynamic conditions. The third central chapter of the thesis (Chapter 4) deals with the forcings associated with high-energy events, which promote erosion episodes of short-term in the region. Corroborating previous studies, the results point to the wind contribution, particularly to the intensification of its southern component as well as the tide, as most responsible for the occurrence of such events. The waves, although contributing, present lower importance. Finally, Chapter 5 presents a risk analysis to short-term erosion that was conducted by a simple and semi-quantitative method and applied to two beaches located in Paulista, municipality identified as a critical area with regard to erosion. The methodological approach sought to be faithful to the equation that describes the risk and uses past data and accessible computational tools. The results showed that, even face to frequent scenarios, the beaches do not present the resilience necessary to adjust its shape to the energy oscillations caused by waves and water levels, undergoing considerable changes, especially in the urban areas. As final considerations, it can be said that the risk concept has broad potential application to coastal management, especially with regard to the management of coastal erosion and finally that the maintenance of coastal resilience is key to reducing risk associated with this process through the mitigation of their consequences.

KEYWORDS: Risk. Coastal erosion. Coastal management. Sandy beaches.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 | APRESENTAÇÃO 11

1.1 INTRODUÇÃO 11

1.2 OBJETIVOS 14

1.3 JUSTIFICATIVA 15

1.4 ORGANIZAÇÃO DA TESE 16

1.5 MÉTODOS 17

1.6 ÁREA DE ESTUDO 20

CAPÍTULO 2 | ESTADO-DA-ARTE DOS ESTUDOS DE RISCO APLICADO À EROSÃO DE PRAIAS 23

2.1 INTRODUÇÃO 23

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO 24

2.3 MÉTODOS 29

2.4 RESULTADOS 30

2.5 DISCUSSÃO 50

2.6 CONCLUSÃO 63

CAPÍTULO 3 | CARACTERIZAÇÃO DO LITORAL CENTRAL DE PERNAMBUCO (BRASIL) QUANTO AO PROCESSO EROSIVO EM CURTO E MÉDIO-TERMOS* 65

3.1 SÍNTESE DO ARTIGO PUBLICADO (APÊNDICE I) 65

CAPÍTULO 4| CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS DE ALTA ENERGIA ASSOCIADOS À EROSÃO DE CURTO-TERMO NO LITORAL CENTRAL DE PERNAMBUCO 68

4.1 INTRODUÇÃO 68

4.2 METODOLOGIA 70
4.3 RESULTADOS 72
4.4 DISCUSSÃO 82
4.5 CONCLUSÃO 85

CAPÍTULO 5 | ANÁLISE DE RISCO À EROSÃO DE PRAIAS ARENOSAS E MEDIDAS PARA SUA GESTÃO: PROPOSTA METODOLÓGICA E ESTUDO DE CASO (PAULISTA, PE) 88
5.1 INTRODUÇÃO 88
5.2 METODOLOGIA 90
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 100
5.4 CONCLUSÃO 116

CAPÍTULO 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS 119

REFERÊNCIAS 122

APÊNDICE I 141

CAPÍTULO 1 | APRESENTAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros representam sistemas transicionais, dinâmicos e sensíveis, sobre os quais atua um complexo sistema de forças (MANSO *et al*., 2001; KLEIN, 2002). As mudanças da linha de costa refletem, além de intervenções antrópicas, padrões de acresção e erosão causados pela interação entre processos naturais que atuam em uma variedade de escalas espaço-temporais (RUDORFF; BONETTI, 2010).

Entre os ambientes mais dinâmicos encontrados na zona costeira, figuram as praias arenosas, as quais se encontram em constante ajuste às flutuações dos níveis locais de energia (HOEFEL, 1998), de modo tal que sua estabilidade não é sustentada ao longo do tempo geológico (BIRD; SCHWARTZ, 1985). As praias se caracterizam pela sua resiliência a eventos extremos, ajustando-se, em perfil e em planta, ao transporte sedimentar transversal e longitudinal. Tal adaptabilidade, no entanto, é condicionada pela disponibilidade de sedimentos (MUEHE, 2010). A erosão marinha, caracterizada pelo recuo da linha de costa em direção ao continente e decorrente do balanço sedimentar negativo, promove a descaracterização do ambiente praial e a perda de importantes habitats costeiros, além de grandes perdas econômicas (MALLMANN; ARAÚJO, 2010).

No ano de 1990, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) expôs, pela primeira vez, as zonas costeiras como áreas vulneráveis às alterações climáticas, particularmente no que refere ao aumento do nível médio do mar (IPCC, 1990), proclamando atenção internacional para o problema. Desde então, uma série de metodologias têm sido criadas e aplicadas no intuito de predizer o comportamento dos litorais em função deste novo cenário ambiental, as quais incluem desde análises preditivas de comportamento da linha de costa e do perfil praial, até análises de vulnerabilidade e risco à erosão.

O crescente interesse em análises preditivas acerca do comportamento de sistemas naturais trouxe consigo divergências no que se refere à terminologia utilizada. Assim, no intuito de promover um entendimento comum sobre os conceitos relacionados à redução do risco de desastres para utilização pelo público, autoridades e profissionais, no ano de 2009 a Estratégia Internacional para a Redução de Desastres (UNISDR) lançou um glossário (UNISDRT, 2009). Tal documento foi referência para o presente estudo e os conceitos adotados no seu desenvolvimento são apresentados a seguir:

(i) Risco: combinação da probabilidade de ocorrência de um evento com suas consequências;

(ii) Perigo: condição ou situação física com potencial para consequências indesejáveis (perdas);

(iii) Vulnerabilidade: características e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou bem que fazem deles susceptíveis aos efeitos danosos de um perigo;

(iv) Resiliência: capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade exposta a riscos de resistir, absorver, acomodar e se recuperar dos efeitos de um perigo, de forma oportuna e eficiente, incluindo a preservação e restauração de suas estruturas e funções essenciais.

Diante da complexidade e da natureza das análises de predição, um questionamento a ser feito é se podem as mesmas ser úteis para subsidiar estratégias e políticas de manejo costeiro. Segundo McFadden (2006), tais análises apresentam grande potencial para subsidiar a tomada de decisão na zona costeira, uma vez que permitem que impactos sejam antecipados, com maior ou menor certeza, em termos de direção e magnitude. O autor menciona ainda que a razão pela qual se tenta qualificar e quantificar os riscos associados à zona costeira é que tais práticas podem, inclusive, ajudar a reduzi-los ou mitigá-los, contribuindo para uma melhor gestão destes espaços.

Para além dos questionamentos acerca da eficiência e utilidade das análises preditivas, conceitos como vulnerabilidade e risco aplicados à zona costeira envolvem um amplo leque de escalas temporais e espaciais. As mudanças de estado num sistema costeiro podem ocorrer tanto como respostas de curto-termo - escala de horas a dias - a perturbações, quanto como respostas a alterações nas condições de contorno, associadas a escalas temporais mais longas. No que se refere à escala espacial, tem-se a comparabilidade como uma das chaves das análises desta natureza, pois esta permite que sejam estabelecidos áreas ou segmentos prioritários para realização de estudos, manutenção e manejo da costa (MCFADDEN, 2006). De acordo com CEPAL (2012) as escalas espaciais determinadas para a execução de estudos com foco no risco relacionado às mudanças climáticas podem ser classificadas em macro, meso e microescalas (Tabela 1).

Tabela 1 – Escalas espaciais e características relacionadas aos estudos de risco voltados para as mudanças climáticas (Fonte: CEPAL, 2012).

Classificação	**Características**
Macroescala	Abrangência internacional; foco em políticas globais de mitigação de danos; baixo requerimento em termos de volume e resolução dos dados de entrada; e pouca exatidão nos resultados.
Mesoescala	Abrangência regional; foco em estratégias de adaptação de larga escala; moderado requerimento de volume e resolução dos dados de entrada; e moderada exatidão nos resultados.
Microescala	Abrangência local; foco em medidas concretas de adaptação; elevado requerimento de volume e resolução de dados de entrada; e maior exatidão nos resultados.

Neste contexto, o conhecimento do risco associado à erosão de praias pode se mostrar uma ferramenta robusta, de importante aplicação para o planejamento e gerenciamento da zona costeira, o que motivou a elaboração desta tese. Pretendeu-se, desta forma, adaptar o conceito do risco para o problema da erosão costeira de curto-termo (escala de horas a dias) e abrangência local identificando os perigos e

quantificando os riscos associados a este processo com o uso de dados pretéritos e ferramentas computacionais. Cabe ainda observar que a análise de risco aqui apresentada se restringiu aos aspectos físicos/ geomorfológicos do ambiente praial, correspondendo ao primeiro nível de impactos propostos pelo IPCC (IPCC, 2012) – mudanças no ambiente físico/natural. Os níveis subsequentes – mudanças nos ecossistemas e efeitos adversos sobre condições humanas ou sociais – não foram abordados.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo consistiu em adaptar o conceito do risco para um problema comum às áreas costeiras – a erosão costeira - desenvolvendo e aplicando uma metodologia de análise de risco ao processo erosivo em curto-termo (escala temporal de horas a dias). Para atingir este objetivo, as seguintes etapas foram executadas:

(i) Elaboração do estado-da-arte dos estudos que abordam o tema "risco" aplicado à erosão costeira nas escalas local, regional e global;

(ii) Caracterização do processo de erosão na área de estudo em termos de análise do processo e suas forçantes em curto e médio-termos;

(iii) Compreensão dos processos e forçantes envolvidos na erosão de curto-termo junto à área de estudo;

(iv) Proposta e aplicação de uma metodologia semi-quantitativa para análise de risco à erosão costeira de curto-termo, bem como sugestão de medidas adequadas para a gestão deste risco.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os impactos potenciais da oscilação energética à qual os sistemas costeiros estão submetidos podem tornar-se uma questão séria para a sociedade, particularmente naquelas áreas em que a resiliência da costa é reduzida e a densidade populacional elevada. Tendo em vista que a gestão dos sistemas praiais e da linha de costa devem fazer parte do planejamento de uso e ocupação em áreas costeiras, o conhecimento acerca dos riscos aos danos físicos aos quais o litoral está submetido se torna importante sob a ótica do gerenciamento costeiro.

Do ponto de vista científico, são diversos os estudos que buscam uma melhor compreensão acerca dos processos costeiros e das suas consequências sobre os ambientes litorâneos. A ideia de se aferir áreas críticas em relação a um determinado agente de vulnerabilidade ou risco é antiga, de modo que diversas metodologias têm sido utilizadas para definir e quantificar prioridades no que refere à concentração de estudos e à realização de ações de manejo. Porém, diferentemente das análises de vulnerabilidade, a análise de risco compreende tanto o tratamento da incerteza acerca da ocorrência de eventos indesejados, como das suas consequências esperadas. A adaptação desta análise numa abordagem fiel ao conceito do risco, como a aqui apresentada, ainda não constitui uma realidade comum no cenário dos estudos voltados à erosão costeira. Por sua vez, a familiarização dos gestores costeiros com este conceito e sua aplicação pode representar um importante avanço para ações de gerenciamento costeiro e de defesa civil junto a áreas sujeitas à erosão.

No que concerne à sua relação com instrumentos legais, a temática abordada por este estudo está em consonância com os objetivos do Projeto Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil - IH-CANTABRIA, 2013), iniciado em 2010 pelo Ministério do Meio Ambiente como uma ação no âmbito do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (BRASIL, 1988), cujo objetivo é *"contribuir para a melhoria da gestão da costa brasileira a partir de insumos que incentivem o entendimento e a proposição de soluções a problemas de erosão costeira e seus impactos ambientais, promovendo a recuperação da funcionalidade dos espaços públicos já ocupados e protegendo as*

populações em áreas de risco". Além deste instrumento legal, a Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas do estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2010a) menciona entre os seus objetivos a prevenção de riscos nas zonas costeiras, reforçando a importância deste tipo de estudo para a gestão do litoral.

Finalmente, ainda que focadas na temática da Biodiversidade, as Metas de Aichi - produto da 10ª Conferência das Partes da Convenção sobre Diversidade Biológica (COP-10), realizada na cidade de Nagoya, Província de Aichi, Japão, onde foi definido o Plano Estratégico de Biodiversidade para o período de 2011 a 2020 - abordam a manutenção dos serviços essenciais prestados pelos ecossistemas, bem como o aumento da resiliência dos ambientes em suas Metas 14 e 15 do Objetivo estratégico D *("Aumentar os benefícios de biodiversidade e serviços ecossistêmicos para todos"*) (UICN; WWF-BRASIL; IPÊ, 2011). Neste sentido, os métodos e resultados apresentados nesta tese podem contribuir para o desenvolvimento/adoção de novos instrumentos e ações que busquem o aumento da resiliência costeira e a manutenção da função das praias arenosas como ecossistemas e enquanto zonas de amortecimento para a energia imposta pelas forçantes que sobre elas atuam.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese foi elaborada sob a forma de capítulos, os quais correspondem às diferentes etapas de trabalho realizadas. O primeiro capítulo é introdutório, apresentando uma introdução comum, objetivos, justificativa, organização da tese e métodos utilizados no seu desenvolvimento, além da descrição da área de estudo. Os capítulos 2, 3, 4 e 5 apresentam o conteúdo de artigos em elaboração ou publicados em revistas científicas e representam os principais resultados obtidos.

O Capítulo 2 se intitula "*Estado-da-arte dos estudos de risco aplicados à erosão costeira".* O mesmo trata de uma análise crítica de estudos de risco aplicados à problemática da erosão costeira, em distintas escalas espaço-temporais e em diversas localidades em torno do globo.

O Capítulo 3 apresenta a síntese do conteúdo do artigo intitulado "*Caracterização do litoral central de Pernambuco (Brasil) quanto ao processo erosivo em curto e médio-termo*" (Apêndice I), o qual foi publicado em outubro de 2014 na edição especial sobre *"O Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais"* da revista *Quaternary and Environmental Geosciences.* Nele se discute o histórico da erosão na área de estudo, bem como as variações de médio e curto-termos ocorridas junto às praias estudadas.

No Capítulo 4, intitulado "*Caracterização dos eventos de alta energia associados à erosão pontual (de curto-termo) no litoral central de Pernambuco*" é apresentada uma análise de séries de diversas variáveis meteoceanográficas e são identificados os processos associados à erosão pontual junto ao litoral da Região Metropolitana do Recife.

No Capítulo 5 é apresentada uma "*Análise de risco à erosão de praias arenosas e medidas para sua gestão: proposta metodológica e estudo de caso (Paulista, PE)*", no qual o conceito de risco é adaptado para o problema da erosão costeira, por meio de um estudo de caso aplicado a perfis de praia localizados nas Praias de Conceição e Nossa Senhora do Ó, litoral norte de Paulista (PE).

Finalmente, no Capítulo 6 são apresentadas as considerações finais da tese, integrando o que foi apresentado nos capítulos anteriores e, a seguir, estão listadas as referências citadas.

1.5 MÉTODOS

O Capítulo 2 constitui um estado-da-arte, cuja elaboração foi feita a partir de um inventário de artigos científicos que têm como tema o risco aplicado à problemática da erosão de praias. Tal inventário foi feito com base na busca em periódicos das áreas de Gerenciamento Costeiro, Meio Ambiente, Oceanografia, Engenharias e Risco, disponíveis na plataforma Periódicos Capes. Adicionalmente, foi feita uma busca com termos de interesse nas bases de dados científicos *Academic Search Premier, BioOne,*

Scielo, Science Direct, Springer e *Web of Science.* Depois de concluídas a busca e a triagem dos artigos que se adequavam à temática de interesse, informações básicas (ano, autor, área de estudo, abordagem metodológica, entre outros) foram extraídas. Os estudos foram espacializados com o uso de *software* de geoprocessamento (ArcGIS 9.2 – ESRI, 2009). Finalmente, os artigos foram avaliados quanto ao conceito do risco adotado, às variáveis utilizadas, aos métodos de integração e à fidelidade ao conceito de risco.

O Capítulo 3 apresenta a síntese de estudo que teve como objetivo melhorar o entendimento acerca do processo erosivo em curso junto ao litoral central da Região Metropolitana do Recife em termos de espacialização do processo e escalas temporais envolvidas. O estudo original (Apêndice I) foi dividido em duas partes: (i) evidências e histórico da erosão costeira e (ii) processo erosivo e escalas temporais associadas. Para a primeira etapa, no intuito de delimitar *hot spots* e espacializar o processo erosivo ao longo do litoral Metropolitano do Recife, foram utilizadas informações acerca da presença de cinco indicadores de erosão, as quais foram coletadas no contexto do Projeto MAI (Monitoramento Ambiental Integrado) (FINEP/UFPE, 2009). Ainda nesta etapa, foram levantados registros nos três jornais de maior circulação do estado (Diário de Pernambuco, Folha de Pernambuco e Jornal do Commércio) cujo tema tratasse de eventos de alta energia e suas consequências (danos) sobre o litoral. Cabe observar aqui que o termo “eventos de alta energia” se refere àquelas ocasiões nas quais por ação de qualquer(isquer) variável(is), o ambiente praial sofreu um maior aporte de energia, respondendo por meio de alterações morfológicas e/ou volumétricas. Tais informações foram essenciais para se ter uma noção da distribuição dos problemas erosivos em função de registros, histórico e evidências.

Para a segunda parte do estudo (ii) foram incluídas análises de curto e médio-termo referentes à morfologia, ao volume do perfil e ao deslocamento de linha de costa, além de dados sobre a largura da pós-praia (área da praia localizada acima do limite superior da zona de espraiamento, só afetada pela ação das ondas em ocasiões excepcionais, como eventos de alta energia) e o deslocamento da zona de interesse (primeira linha edificada à retroterra). Todas as análises foram feitas a partir de dados

compilados do banco de dados do Projeto MAI e a partir das mesmas foi possível estabelecer as áreas mais suscetíveis à erosão costeira no litoral central de Pernambuco e as escalas temporais associadas ao processo.

O Capítulo 4 foi conduzido no intuito de compreender os agentes envolvidos nos eventos de alta energia que acometem as praias do litoral central de Pernambuco. Para tanto, foram identificadas a partir de registros nos principais periódicos locais (Diário de Pernambuco, Folha de Pernambuco e Jornal do Commércio), as datas nas quais eventos de alta energia trouxeram consequências indesejadas para o ambiente praial ou para os equipamentos urbanos nele instalados. Posteriormente, utilizando os valores absolutos de cada variável nas 24h anteriores aos episódios registrados (pressão, intensidade do vento, componentes zonal e meridional do vento, altura de onda e maré) foi feita uma análise descritiva no intuito de identificar características comuns entre os eventos e estabelecer quais os fatores/conjuntos de fatores contribuem para a ocorrência de eventos de alta energia junto à Área de Estudo.

O Capítulo 5, intitulado *"Análise de risco à erosão de praias arenosas e medidas para sua gestão: proposta metodológica e estudo de caso (Paulista, PE)"* apresenta uma proposta metodológica para análise de risco à erosão de curto-termo em praias arenosas, bem como a sua aplicação a dois perfis praiais localizados ao norte do município de Paulista, nas praias de Nossa Senhora do Ó e Conceição. Para tanto, foi utilizado o conceito clássico do risco, segundo o qual o mesmo é expresso como o produto da frequência ou probabilidade de ocorrência pela consequência ou impacto do evento (C). Para o estudo de caso, foram utilizados perfis praiais obtidos no contexto do Projeto MAI. O *Sistema de Modelado Costeiro* (SMC) (IH-CANTABRIA, 2013) foi utilizado para extrair as estatísticas de onda em cada ponto próximo à profundidade de fechamento dos perfis, bem como seus respectivos períodos de retorno. No intuito de estimar os impactos dos casos analisados, a evolução morfológica do perfil foi estimada com o uso do módulo PETRA (Modelo de Evolução do Perfil Transversal), ferramenta disponível no pacote SMC. Adicionalmente, com base nos resultados, o capítulo apresenta uma discussão sobre medidas para uma gestão costeira adequada, baseada no conhecimento do risco.

Nos capítulos 6 e 7 são apresentados, respectivamente, as Considerações Finais feitas com base nos resultados obtidos e nas principais conclusões da tese, e as Referências citadas nos capítulos anteriores.

1.6 ÁREA DE ESTUDO

O litoral central de Pernambuco se estende por aproximadamente 40 km, e está localizado entre os estuários dos rios Timbó e Jaboatão-Pirapama, compreendendo os municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes. Tal setor faz parte da Região Metropolitana do Recife (RMR) e apresenta 28 segmentos costeiros ambientalmente homogêneos, delimitados com base nas suas características geomorfológicas, de exposição, de orientação e de ocupação, a partir de uma adaptação da metodologia sugerida pelo Projeto Orla (BRASIL, 2002) (Figura 1).

Na região, a planície costeira possui menos de 10 km de largura e apresenta uma altitude média de 4 m (COSTA *et al.,* 2010), sendo formada por depósitos sedimentares e alinhada na direção NNE-SSO. Extensos alinhamentos de arenitos de praia (*beachrocks*) constituem as feições mais conspícuas da linha de costa (NEVES E MUEHE, 1995; FERREIRA JR. *et al.,* 2011; FERREIRA JR. *et al.,* 2013). Os ecossistemas presentes na região incluem estuários, manguezais, praias arenosas e recifes de coral (ARAÚJO *et al*., 2014). No que se refere à hidrografia, a área é bem drenada, com inúmeros rios e riachos, sendo o Rio Capibaribe o principal curso d´agua.

A área de estudo apresenta temperatura média anual em torno de 27 °C e pluviosidade aproximada de 2000 mm/ano, distribuídos de modo desigual entre os períodos seco e chuvoso. Predominam os ventos dos quadrantes Sul, Leste e Sudeste (SILVA *et al.,* 2002), com velocidades médias de 3 a 5m/s (MANSO *et al.,* 2006).

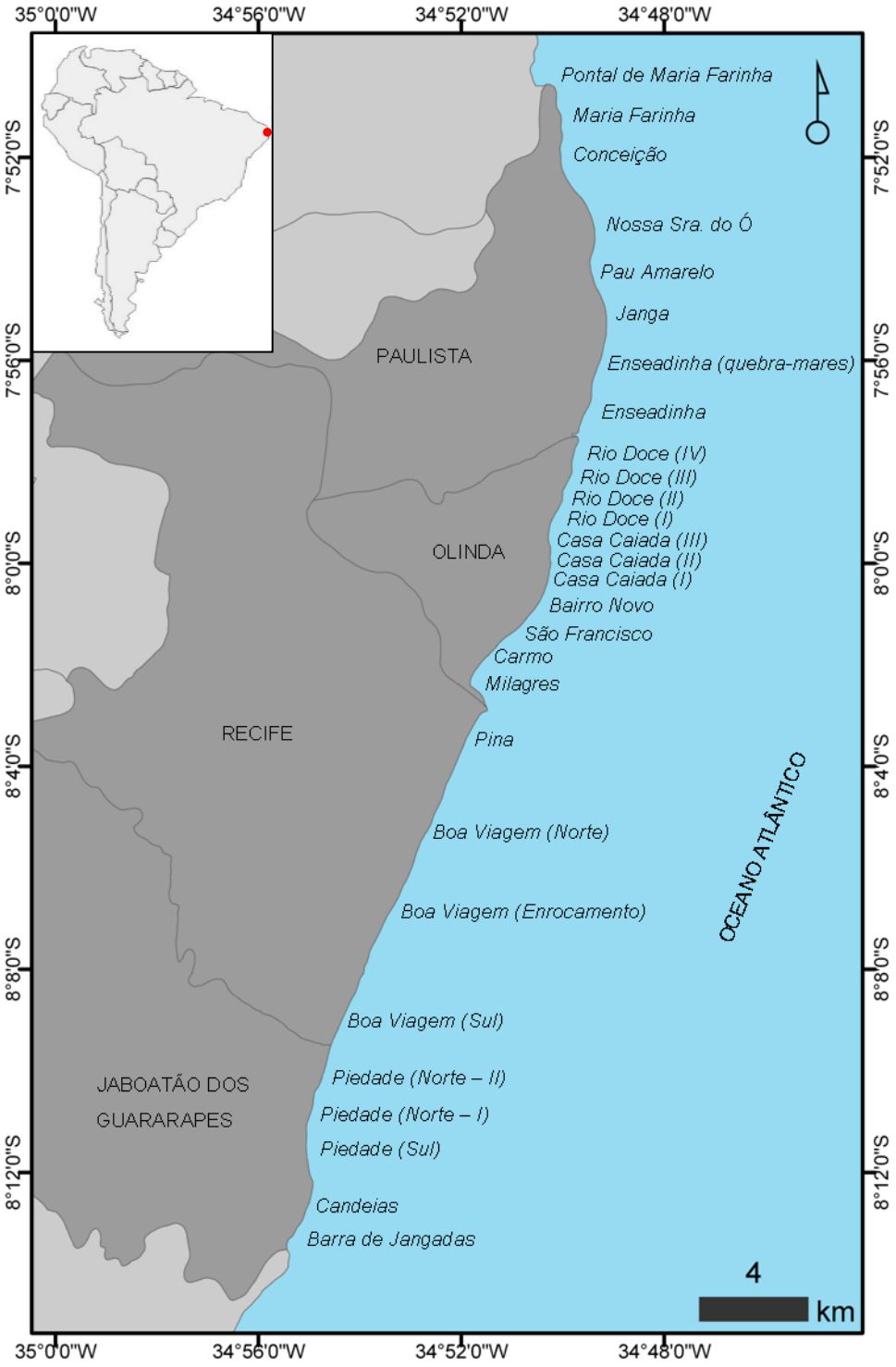


Figura 1 - Localização da área de estudo (litoral central de Pernambuco-Brasil) com indicação de 28 segmentos costeiros.

As marés registradas na região são semidiurnas, sendo classificadas em termos de amplitude como mesomarés, com amplitude média de 2,07 m durante a sizígia e 0,97 m na quadratura (COSTA *et al.,* 2016). .A altura significativa de onda varia de 0,7 a 1,2 m, com períodos médios entre 5 e 7 s durante o verão (período seco) e de 0,9 e 1,4 m, com períodos entre 6 e 8 s durante o inverno (período chuvoso), conforme estudo conduzido por Rollnic (2002). Ondas mais altas ocorrem durante os meses de inverno, vindas de sul e podem chegar a alturas máximas de 4,3 m e períodos de 17 s (PIANCA *et al.,* 2010). Por sua vez, as correntes costeiras variam ao longo do ano (FINEP/UFPE, 2009), sendo o sentido preferencial da deriva litorânea para norte.

CAPÍTULO 2 | ESTADO-DA-ARTE DOS ESTUDOS DE RISCO APLICADO À EROSÃO DE PRAIAS

2.1 INTRODUÇÃO

As Zonas Costeiras, áreas nas quais inúmeras grandes cidades se localizam, constituem áreas densamente ocupadas (UNITED NATIONS, 2011) e/ou que vêm experimentando um incremento na sua ocupação. Por outro lado, trata-se de áreas onde a frequência e a severidade de eventos relacionados aos perigos costeiros têm aumentado, entre os quais aqueles que resultam na erosão (NOAA, 2013). Consequentemente, os impactos decorrentes da erosão têm se tornado mais intensos, demandando maiores esforços no que se refere à proteção da linha de costa e à mitigação dos efeitos ecológicos, sociais e econômicos relacionados ao processo.

Embora a preocupação com o gerenciamento costeiro seja uma questão antiga em diversos países (CICIN-SAIN *et al.,* 1998), nos últimos anos tem crescido a inquietação acerca da resiliência costeira e da necessidade de proteger a costa no que se refere aos perigos naturais. Neste cenário, a análise de risco e a análise quantitativa de risco - as quais tem se tornado parte importante no processo de tomada de decisão em diversas áreas do conhecimento (DUARTE *et al.,* 2013) - se mostram potencialmente úteis no manejo de problemas costeiros. A incorporação do conceito de risco a ferramentas técnicas que facilitam o tratamento de questões relacionadas aos perigos costeiros, particularmente àqueles que envolvem a erosão costeira, tem sido sugerida por diversos autores, programas e projetos (EUROPEAN COMISSION, 2004; MICORE, 2011; IPCC, 2012).

Segundo Hinkl e Klein (2006), um dos maiores problemas dos conceitos relacionados à vulnerabilidade costeira é o fato de os mesmos frequentemente se tornarem imprecisos quando se parte para a execução da análise propriamente dita. No que se refere ao risco, no contexto dos problemas costeiros, a mesma observação pode ser aplicada. De acordo com o Relatório Especial sobre Gestão dos Riscos a Eventos

Extremos e Desastres Associados ao Avanço das Mudanças Climáticas (IPCC, 2012), apesar da sua utilidade, a análise quantitativa de risco não é habitualmente implementada na área de desastres naturais por razões que incluem a limitação de dados, sendo usualmente adotadas análises mais simples, tais como as regras de decisão ou as análises qualitativas.

No intuito de compreender em que contextos e com que profundidade o conceito de risco tem sido aplicado a problemas costeiros, particularmente no que se refere à erosão de praias arenosas, este capítulo apresenta uma revisão crítica da literatura voltada para o assunto. Desta forma, o presente estudo se propôs a analisar a produção científica dedicada à temática do risco aplicado à erosão de praias, mediante as seguintes propostas: (i) inventariar os estudos realizados; (ii) analisar os distintos conceitos adotados/ propostos pelos autores; (iii) compreender quais são os perigos e eventos considerados pelas análises; (iv) classificar as metodologias utilizadas; (v) espacializar o conhecimento sobre o assunto e (vi) verificar o grau de fidelidade ao conceito de risco. Pretendeu-se, ao atingir os objetivos supracitados, dar um passo em direção ao aumento da formalidade e da aderência ao conceito de risco por parte dos estudos voltados à erosão costeira.

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO

Perigos e as Zonas Costeiras

Segundo Kron (2013), nenhuma outra região apresenta mais perigos naturais do que as zonas costeiras. Ventos fortes, tempestades, ondas e *tsunamis* demonstram seu poder de destruição ao atingir a costa. Adicionalmente, as mudanças climáticas intensificam a ameaça representada pelas variações do nível do mar. Coincidentemente, nas áreas costeiras se localizam inúmeros ambientes importantes sob o ponto de vista ecológico, tais como manguezais, marismas, falésias, costões rochosos, praias arenosas e de cascalho e afins, cuja integridade é função, entre outros fatores, da sua convivência e adaptação aos perigos supracitados.

Neste contexto, as mudanças climáticas podem não somente incrementar as ameaças representadas pelos eventos extremos, mas também agravar efeitos de longo prazo, tais como a erosão de longo-termo e o déficit sedimentar. À luz dos processos e fenômenos atuantes nas zonas costeiras, há uma grande necessidade de se avançar no conhecimento sobre a natureza dos perigos, além da dimensão e do incremento dos riscos relacionados a estas regiões.

Risco

A análise de risco (AR) e a análise quantitativa de risco (AQR) fazem parte de uma área do conhecimento que vem se desenvolvendo mais intensamente nas últimas décadas. De acordo com Modarres (2006), a demanda por este tipo de análise surgiu a partir do aumento da complexidade dos sistemas e processos industriais e da necessidade de se incrementar a segurança destes. Desta forma, entre as décadas de 50, 60 e 70, surgiram as primeiras publicações contendo as bases teóricas e as metodologias necessárias à execução de análises de risco em sistemas complexos de engenharia (ALBUQUERQUE, 2013), voltados inicialmente à área nuclear.

Costa (2003) menciona que, em virtude do crescente interesse da indústria em exploração e produção de petróleo e do elevado grau de incerteza que acompanha os projetos destas áreas, a análise de risco vem sendo amplamente aplicada com este foco. Por sua vez, de acordo com Zonno (2003), a análise e o gerenciamento de risco têm sido utilizados corriqueiramente como ferramentas de suporte às atividades de bancos, seguradoras e operações de negócios, tendo sido aplicados mais recentemente à saúde e à segurança humanas. A autora menciona ainda que nas últimas décadas surgiu o interesse em pesquisas voltadas para riscos e desastres relacionados a perigos naturais.

A análise de risco constitui uma abordagem já consolidada (ISO 31.000; ISO/IEC Guide 73:2002) e amplamente utilizada em áreas como as engenharias nuclear (RECHARD, 1999; GREENBERG; TRUELOVE, 2011; GROOT *et al.,* 2012; HIMANEN *et al.,* 2012), e aeroespacial (SWAIN; GUTTMANN, 1983; GERRARD, 2000), a indústria do petróleo

(COSTA, 2003; DUARTE; DROGUETT, 2012; DUARTE *et al.*, 2013) e a saúde (ELLIOTT *et al.*, 1999; DOWNS *et al.,* 2011). Em virtude do seu potencial para subsidiar a tomada de decisão (DUARTE; DROGUETT, *op. cit.)* e minimizar impactos indesejados (ZIO; AVEN, 2013) tais métodos têm vasto potencial de aplicação também em outras áreas do conhecimento, a exemplo do gerenciamento costeiro.

Na última década, o interesse pela execução de análises e avaliações de risco associadas a perigos costeiros tem aumentado, o que deriva do incremento na magnitude dos perigos naturais, acrescido da expansão das atividades humanas junto à costa (CASTILLO *et al.*, 2012). A literatura que trata de análise e avaliação de risco nas zonas costeiras é ampla e inclui leis e regulamentos (DOWNS *et al*., 2011), guias e manuais (ACE/CRC, 2001) e estudos publicados em eventos científicos (ROLLASON *et al.,* 2010; FISK; KEY, 2010), além de artigos publicados em periódicos (DAL CIN E SIMEONI, 1994) e relatórios (CEPAL, 2012; MICORE, 2013).

O conhecimento acerca dos riscos costeiros pode ajudar tomadores de decisão a definir prioridades nas ações de manejo, as quais podem minimizar ou mitigar possíveis consequências negativas (STERR *et al.*, 1999). Assim, a avaliação de risco surge como ferramenta técnica de suporte à gestão costeira, podendo ser definida como um processo que envolve a caracterização, o gerenciamento e a comunicação acerca da existência, natureza, magnitude, prevalência, fatores e incertezas das perdas potenciais (MODARRES, 2006). Em sua aplicação às áreas costeiras, as análises de risco – as quais fazem parte da avaliação de risco - devem considerar a frequência de determinados eventos naturais e a magnitude das suas prováveis consequências em termos de bens, pessoas, ecossistemas ou atividades desenvolvidas na área (ANCORIM, 2012).

As metodologias encontradas na bibliografia referente a análises de risco (ver ISO/IEC GUIDE 73:2000) definem o risco em termos qualitativos e/ou quantitativos, sendo que esta última normalmente conduz a uma determinação de risco mais precisa (CASTILLO *et al.*, 2012). A escolha da abordagem metodológica depende da disponibilidade de informações e, principalmente, dos objetivos específicos da análise.

O risco refere-se a uma medida do potencial de perda em função de processos naturais ou antrópicos (MODARRES, 2006). De acordo com Aven (2011), o conceito pode ser descrito por meio de valores esperados, probabilidades ou incertezas. Uma definição bem aceita do risco é apresentada na Equação I, na qual o conceito é descrito em função dos eventos (ou cenários) (A), consequências (C) e verossimilhança (P):

(Equação I) Risco = (A, C, P)

A verossimilhança é um aspecto da incerteza que pode ser representado pela frequência ou pela probabilidade (P) de ocorrência de um evento incerto (E). O mesmo pode ser alternativamente quantificado por meio de teoria da possibilidade, lógica difusa (*fuzzy)*, entre outros métodos. Por sua vez, o termo Consequências (C) está relacionado à severidade dos impactos de um evento. Desta forma, como definição, este estudo adota a norma ISO/IEC Guide 73:2000, a qual trata do gerenciamento de riscos e na qual o conceito do risco é dado como *"a combinação da probabilidade de um evento e suas consequências"*, descrito na Equação II. Tal conceito pode ainda ser representado pelo diagrama adaptado de Taubenböck *et al.* (2008) (Figura 2), ou ainda pelo gráfico mostrado na Figura 3, expressando que o risco é diretamente proporcional à probabilidade de ocorrência do evento em questão e à magnitude de suas consequências ou impactos (MAFF, 2000).

(Equação II) Risco = P(E) X C(E)

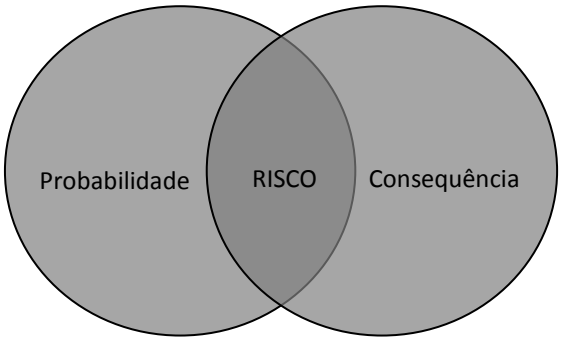


Figura 2 – Risco como resultado da integração entre probabilidade de ocorrência de um evento e suas consequências (adaptado de Taubenböck *et al.,* 2008).

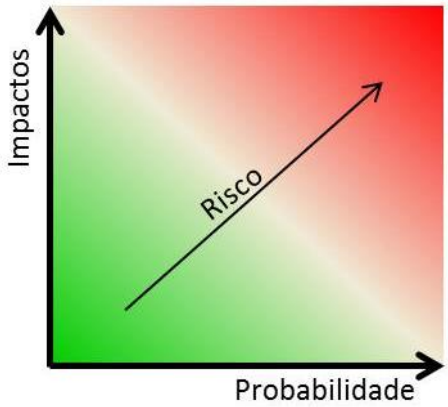


Figura 3 – Relação entre o risco, a probabilidade de ocorrência e os impactos de um evento indesejado (adaptado de MAFF, 2000).

A probabilidade representa a ferramenta comumente utilizada para descrever as incertezas em uma análise de risco (ZIO; AVEN, 2013). A incerteza, ou *"incapacidade de determinar a lista completa de possíveis resultados de uma ação"* (GODARD *et al.,* 2002), é uma marca da complexidade que afeta diversos aspectos do gerenciamento de riscos naturais em áreas costeiras: existe incerteza acerca das projeções de aumento do nível do mar devido às mudanças climáticas; existe incerteza a respeito dos impactos locais de mudanças em escala global e existe incerteza acerca da trajetória socioeconômica de territórios costeiros (FERREIRA *et al.*, 2006).

De acordo com Modarres (2006), a incerteza aumenta com a lacuna no conhecimento acerca de um determinado sistema, podendo derivar de duas fontes: (i) do estado de

conhecimento na construção de um modelo representativo do mundo real (incerteza epistêmica); ou (ii) da variabilidade do sistema que é representado (incerteza aleatória). No contexto das zonas costeiras, a noção de incerteza pode ser usada para evocar perspectivas nas estratégias de gerenciamento de riscos naturais junto à costa (DEBOUDT, 2010).

2.3 MÉTODOS

Para a execução da análise crítica, foi feito um inventário dos artigos científicos que abordam o tema "risco" aplicado à erosão costeira. Para tanto, inicialmente foram levantados periódicos das áreas de Geociências, Meio Ambiente, Oceanografia, Engenharia e Risco disponíveis na plataforma Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Para cada periódico foi feita uma busca pelos termos "risco" e "erosão costeira", os quais também foram consultados nas bases de dados científicas *Academic Search Premier*, *BioOne*, *Scielo*, *Science Direct*, *Springer* e *Web of Science*. Uma vez concluída esta etapa, foram extraídas informações básicas - autoria, área de estudo e ano de publicação. Tais informações permitiram traçar a evolução cronológica do volume de estudos, bem como espacializar a produção disponível até então, o que foi feito com o uso do *software* ArcGIS 9.2 (ESRI, 2009). Ainda nesta etapa, os artigos foram analisados de acordo com a abordagem metodológica em três categorias, propostas por Modarres (2006), a saber:

(i) Quantitativa: tenta estimar o risco sob a forma de probabilidade (ou frequência) de uma perda e avaliar tais probabilidades para tomar decisões e comunicar resultados;

(ii) Qualitativa: abordagem mais usada pela simplicidade e rapidez. Nela, as perdas potenciais são estimadas qualitativamente com o uso de escala linguística como baixo, médio, alto. Normalmente é usada uma matriz para embasar decisões políticas e gerenciais;

(iii) Quali-quantitativa ou semi-quantitativa: trata-se de um misto das análises qualitativa e quantitativa. Tal mescla pode se dar de duas formas: a frequência ou o potencial de perda é medido qualitativamente e a magnitude das consequências é medida quantitativamente, ou vice-versa. Há ainda a possibilidade de ambas as dimensões serem estimadas quantitativamente, mas a sua integração fazer uso de métodos qualitativos.

Finalmente, os artigos foram analisados quanto ao conceito de risco (se mencionado apropriadamente ou qual o conceito adotado – ver definições no Capítulo 1), às variáveis utilizadas para o seu cálculo, aos métodos de integração e à fidelidade ao conceito de risco quando da execução da análise.

2.4 RESULTADOS

Inventário dos Estudos Analisados

Foram inventariados e analisados 19 artigos científicos (Tabela 2) que abordaram o tema em questão, os quais foram publicados em 14 periódicos distintos (Tabela 3). Artigos inicialmente selecionados por tratarem de riscos costeiros, não foram aqui incluídos por abordarem assuntos como inundações costeiras (DALCIN; SIMEONI, 1994; BONDESAN *et al*., 1995; WANG *et al*., 2012; SHEPARD *et al*., 2012), por não se tratarem de tentativas de executar uma análise de risco à erosão costeira, e sim de revisões sobre a forma como o gerenciamento do risco se dá em determinadas localidades (FERREIRA *et al.,* 2009; DODDS *et al*., 2010), ou ainda sobre as causas do processo erosivo que conferem a um litoral determinado "grau de risco" à erosão (PEDROSA, 2013). Foram ainda excluídos aqueles artigos que apresentavam apenas proposta metodológica, sem exemplo de aplicação (JADIDI *et al.*, 2013; SOLDATI *el al.*, 2011) e aqueles apresentados como resumos em congressos (THERON *et al.*, 2010; XING *et al*., 2013). Tais artigos foram inicialmente selecionados pelo fato de terem sido buscados pelas bases de dados consultadas.

Tabela 2 - Artigos que abordam a temática do risco à erosão costeira analisados.

Artigo	Autores	Área de Estudo	Título	Proposta	Ano
(A)	Bush *et al.*	Bogue Banks, Carolina do Norte (Estados Unidos)	*Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation*	Produzir um mapa geral de risco (p. 662)	1999
(B)	Greve *et al.*	Praias de Collaroy e Narrabean, Sydney (Austrália)	*Application of a Geographical Information System for Risk Assessment on Open Ocean Beaches: Collaroy/Narrabeen Beach, Sydney, Australia— An Example*	Estimar o risco que as zonas costeiras podem enfrentar devido aos impactos da mudança climática (p. 150)	2000
(C)	Souza	Juréia, Guaraú, Itanhaém, São Vicente, São Lourenço e Caraguatatuba, São Paulo (Brasil)	*Coastal Erosion Risk Assessment, Shoreline Retreat Rates and Causes of Coastal Erosion Along the State of São Paulo Coast, Brazil*	Apresentar uma avaliação de risco à erosão costeira (p. 461)	2002
(D)	Souza e Suguio	Litoral do estado de São Paulo (Brazil)	*The coastal erosion risk zoning and the São Paulo Plan for coastal management*	Apresentar uma classificação de risco (p. 530)	2003
(E)	Veloso-Gomes *et al.*	Espinho, Esmiriz, Cortegaça, Furadouro, Costa Nova e Vagueira (Portugal)	*Erosion risk levels at the NW Portuguese coast: The Douro mouth - Cape Mondego stretch*	Discutir níveis de risco à erosão (p. 43)	2004

Tabela 2 (Continuação) - Artigos que abordam a temática do risco à erosão costeira analisados.

Artigo	Autores	Área de Estudo	Título	Proposta	Ano
(F)	Simó e Horn Filho	Ilha de Santa Catarina (Brasil)	Caracterização e distribuição espacial das "ressacas" e áreas de risco na ilha de Santa Catarina, SC, Brasil	Identificar e delimitar áreas de risco (p. 94)	2004
(G)	Lins-de-Barros	Maricá, Rio de Janeiro (Brasil)	Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do município de Maricá, Rio de Janeiro	Identificar áreas de risco à erosão (p. 84)	2005
(H)	Khoshravan	Astara, Talesh, Anzali, Nashtarood, Sorkhrood e Miankaleh, Mar Cáspio (Irã)	*Beach sediments, morphodynamics, and risk assessment, Caspian Sea coast, Iran*	Calcular grau de risco (p. 37)	2007
(I)	Meur-Férec *et al.*	Wimereux, Oye-Plage e Bray-Dunes (França)	*Coastal Risks in France: An Integrated Method for Evaluating Vulnerability*	Apresentar os resultados de um programa de investigação sobre os riscos associados à mobilidade da linha de costa (p. 179)	2008

Tabela 2 (Continuação) - Artigos que abordam a temática do risco à erosão costeira analisados.

Artigo	Autores	Área de Estudo	Título	Proposta	Ano
(J)	Roca *et al.*	Lido de Sète, Mar Mediterrâneo (França)	*Assessing the Multidimensionality of Coastal Erosion Risks: Public Participation and Multicriteria Analysis in a Mediterranean Coastal System*	Analisar a viabilidade da aplicação da análise multicritério por meio de um processo de participativo, a fim de avaliar diferentes estratégias para lidar com os riscos à erosão costeira (p. 400)	2008
(K)	Calliari *et al.*	Litoral do Rio Grande do Sul (Brasil)	Perigos e riscos associados a processos costeiros no litoral sul do Brasil (RS): uma síntese	Descrever os perigos naturais e os riscos costeiros (p. 51)	2010
(L)	Ceia *et al.*	Quarteira-Garrão, Ancão, Barreta, Culatra, Armona, Tavira, Cabanas e Cacela, Ria Formosa (Portugal)	*Coastal vulnerability in barrier islands: The high risk areas of the Ria Formosa (Portugal) system*	Identificar as áreas de maior risco (p. 480)	2010
(M)	Lozoya *et al.*	Praia de Abanell (Espanha)	*A methodological framework for multi-hazard risk assessment in beaches*	Propor uma estrutura para a avaliação de riscos múltiplos em praias (p. 686)	2011

Tabela 2 (Continuação) - Artigos que abordam a temática do risco à erosão costeira analisados.

Artigo	Autores	Área de Estudo	Título	Proposta	Ano
(N)	Corbella e Strech	Durban (África do Sul)	*Multivariate return periods of sea storms for coastal erosion risk assessment*	Calcular a erosão decorrente de eventos históricos de tempestade, calcular o intervalo médio de recorrência dos volumes de erosão simulados e identificar quais os períodos de retorno correspondentes (p. 2700)	2012
(O)	Pereira e Coelho	Linha de costa entre Espinho e Mira (Portugal)	Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar	Avaliar vulnerabilidade, exposição e risco em um segmento costeiro (p. 2)	2012
(P)	Roig Munar *et al.*	Es Trenc, Sa Mesquida, Son Bou e S' Olla (Espanha)	*Risk Assessment of Beach–Dune System Erosion: Beach Management Impacts on the Balearic Islands*	Executar uma análise multivariada com base num *checklist* de características e medidas de manejo para o sistema praia-dunas (p. 1488)	2012

Tabela 2 (Continuação) - Artigos que abordam a temática do risco à erosão costeira analisados.

Artigo	Autores	Área de Estudo	Título	Proposta	Ano
(Q)	Luo *et al.*	Fujian Coast (China)	*An integrated risk assessment of coastal erosion based on fuzzy set theory along Fujian coast, southeast China*	Descrever e mapear o nível de risco relativo à erosão (p. 68)	2013
(R)	Pereira e Coelho	Aveiro, Ilhavo, Vagos e Mira (Portugal)	*Mapping erosion risk under different scenarios of climate change for Aveiro coast, Portugal*	Desenvolver, apresentar e discutir uma metodologia para representar mapas de risco à erosão (p. 1034)	2013
(S)	Bio *et al.*	Vila Nova de Gaia (Portugal)	*Methods for coastal monitoring and erosion risk assessment: two Portuguese case studies*	Avaliar o risco à erosão (p. 3)	2015

Tabela 3 – Periódicos nos quais foram publicados os artigos analisados (n=19).

Periódico	n	Fator de impacto (*ISI Web of Knowledge* 2012)	Citações (*ISI Web of Knowledge* 2012)	Percentual
Ocean and Coastal Management	3	-	-	15,7
Journal of Coastal Research	3	0,496	4.205	15,7
Revista da Gestão Costeira Integrada	2	-	-	10,4
Environmental Geosciences	1	-	-	5,3
Pesquisas em Geociências	1	-	-	5,3
Journal of Coastal Conservation	1	-	-	5,3
Gravel	1	-	-	5,3
Revista Brasileira de Geomorfologia	1	-	-	5,3
Quaternary International	1	1,962	5.559	5,3
Risk Analysis	1	2,278	4.967	5,3
Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology	1	-	-	5,3
Environmental Science and Policy	1	-	-	5,3
Natural Hazards and Earth System Sciences	1	2,933	1.751	5,3
Natural Hazards	1	2,943	1.639	5,3
Total	19	-	-	100

Embora as publicações dedicadas aos riscos costeiros, sob seus mais diversos aspectos, conceitos e abordagens, sejam relativamente recentes no mundo, foi possível traçar a evolução temporal dos estudos de caso levantados, a qual evidenciou um aumento do volume de estudos dedicados ao tema desde o ano de 1999, quando foi publicado o primeiro deles, até o presente (Figura 4).

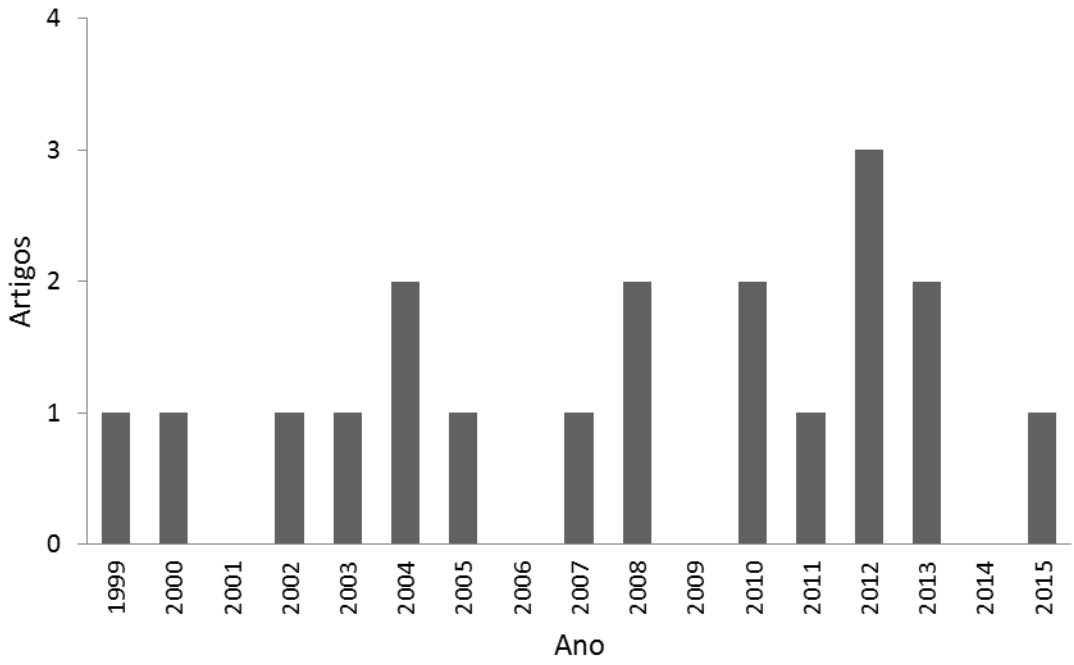


Figura 4 – Evolução do volume de publicações dedicadas ao estudo do risco à aplicado à erosão costeira no período de 1995 a 2015 (n=19).

No que se refere à espacialização dos estudos, predominam aqueles aplicados a praias na Europa (com destaque para Portugal – 26,3% dos estudos analisados, Espanha – 10,5% e França – 10,5%) e na América do Sul (destaque para o sul e sudeste do Brasil, com 26,3%%) (Figura 5). Não foram encontrados estudos realizados na América Central que atendessem aos requisitos e a África, assim como a Oceania, contribuiu com apenas um estudo (5,2%). Por sua vez, o continente asiático foi contemplado por 11% dos estudos. A espacialização dos artigos analisados é mostrada a seguir (Figura 6).

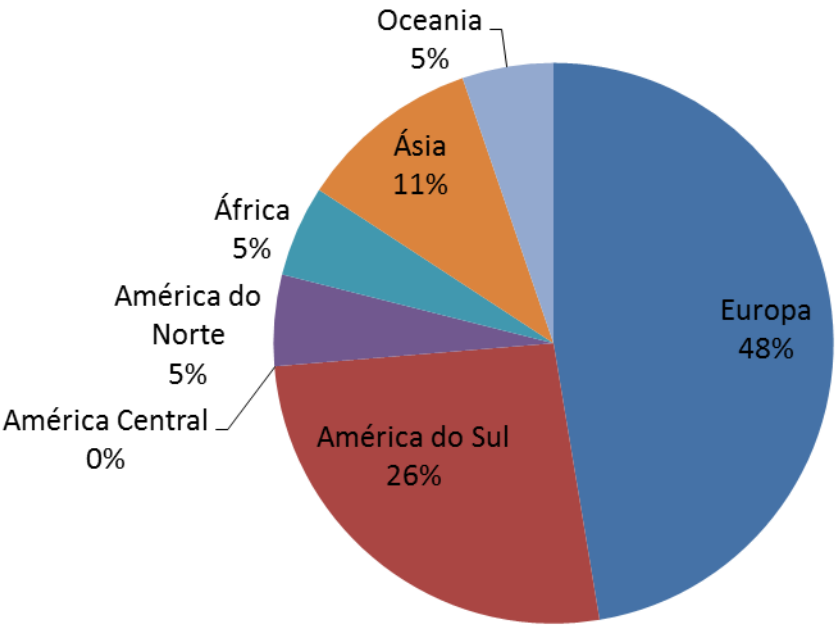


Figura 5 – Distribuição dos estudos analisados por continente (n=19).

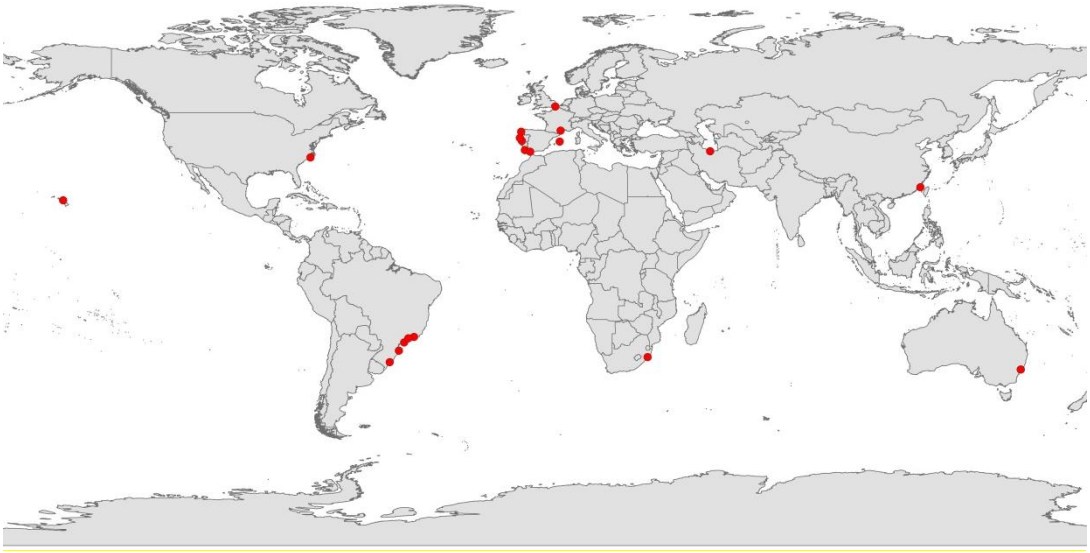


Figura 6 – Espacialização dos estudos analisados (n=19).

Aderência ao conceito do Risco

Na seção Risco foi introduzido o conceito de risco mais amplamente aceito pela comunidade científica. Nesta seção, foi analisada a aderência ao referido conceito por parte dos estudos levantados, tanto conceitual quanto operacionalmente. Conforme apresentado na Tabela 4, os conceitos adotados/ propostos nos estudos analisados

apresentam grande diversidade. Cerca de 64% dos estudos não menciona explicitamente qualquer conceito. No entanto, através da leitura cuidadosa do artigo é possível verificar que o termo é usado com diferentes sentidos, especialmente de perigo ou de vulnerabilidade.

Embora alguns autores conceituem adequadamente o termo risco (LOZOYA *et al.,* 2011; PEREIRA; COELHO, 2013; LUO *et al.,* 2013), os mesmos não necessariamente são fiéis ao conceito apresentado na Equação II quando da estimativa/quantificação do risco (análise propriamente dita), conforme discutido a seguir. Por exemplo, entre os autores supracitados, Lozoya *et al.* (*op. cit.)* apresenta uma análise que combina o valor dos ecossistemas contemplados pelo estudo com a intensidade do impacto analisado; Pereira e Coelho (*op. cit.)* apresentam o produto entre vulnerabilidade (características físicas) e exposição (características socioeconômicas) para estabelecer diferentes categorias de risco e, finalmente, Luo *et al. (op. cit.)* apresentam uma combinação entre perigos geoambientais e vulnerabilidade socioeconômica.

Tabela 4 – Conceitos de risco adotados nos artigos analisados.

Estudo	Conceito	Observação
(A)	Não mencionado	Usado no sentido de vulnerabilidade
(B)	Risco (*R*) é definido como função de perigo (H) e vulnerabilidade (*V*) ao longo do tempo (*t*): *R* = f (*H,V,t*)	Usado no sentido de perdas potenciais associadas a períodos de retorno
(C)	Expectativa de vidas perdidas, pessoas lesionadas, danos a propriedades e prejuízos econômicos relacionados a um perigo natural	Usado no sentido de erosão passível de ser observada
(D)	Embora os autores revisem diversos conceitos, apresentam o risco como uma "ferramenta analítica que pode ser usada para estimar o potencial dos impactos adversos das atividades antrópicas"	Usado no sentido de erosão passível de ser observada
(E)	Não mencionado	Usado no sentido de vulnerabilidade
(F)	Não mencionado	Risco equivale a danos/consequências combinadas com a vulnerabilidade natural
(G)	Não mencionado	Usado no sentido de vulnerabilidade
(H)	Não mencionado	Usado no sentido de vulnerabilidade
(I)	Resultado da convergência de um (ou mais) perigos e um (ou mais) dos elementos expostos aos perigos – humano, econômico ou ambiental	Usado no sentido de vulnerabilidade
(J)	Não mencionado	Usado ora no sentido de perigo, ora de vulnerabilidade
(K)	Não mencionado	Usado no sentido de perigo
(L)	Não mencionado	Usado no sentido de vulnerabilidade

Tabela 4 (Continuação) – Conceitos de risco adotados nos artigos analisados.

Estudo	Conceito	Observação
(M)	Produto do perigo, exposição e consequência, ou ainda como a combinação entre a probabilidade e a severidade das consequências	Combinação entre intensidade do perigo e valores associados aos serviços dos ecossistemas
(N)	Não mencionado	Segue o conceito do risco conforme descrito na Equação II, ainda que não formalmente
(O)	Produto da probabilidade de ocorrência de um evento indesejado e das consequências associadas a este evento	Risco equivale ao produto entre vulnerabilidade e exposição
(P)	Não mencionado	Usado no sentido de vulnerabilidade
(Q)	Combinação entre a probabilidade de ocorrência de um evento e suas consequências negativas	Combinação entre perigos geoambientais e vulnerabilidade socioeconômica
(R)	Não mencionado	Usado no sentido de potencial de erosão
(S)	Não mencionado	Usado no sentido de vulnerabilidade

Perigos e eventos indesejados abordados por estudos de risco nas zonas costeiras incluem processos meteoceanográficos associados a elevados níveis de energia na costa, bem como a erosão costeira associada a determinadas forçantes, tais como aumento do nível do mar e tempestades (GREVE *et al.,* 2000*;* SIMÓ; HORN FILHO, 2004*;* THERON *et al.,* 2010; LOZOYA *et al.,* 2012; PEREIRA; COELHO, 2013). Outros estudos incluem múltiplos perigos, tais como vulcanismo, perigos relacionados ao banho de mar, entre outros (CALLIARI *et al.,* 2010; LOZOYA *et al*., 2012) (Tabela 5). Ademais, os autores têm focos distintos (como por exemplo, economia, ecologia ou geomorfologia). Por sua vez, as variáveis consideradas dependem do foco e da escala espaço-temporal do estudo, usualmente descrevendo aspectos físicos do sistema costeiro (tais como largura de praia, presença de dunas, características do clima de ondas, tipos de sedimento, entre outros) ou ainda aspectos socioeconômicos (como tipo e localização de edificações, atividades econômicas desenvolvidas, entre outros).

Tabela 5 – Perigos considerados, variáveis e resultados apresentados em cada um dos estudos analisados.

Estudo	Perigos/eventos	Variáveis utilizadas	Resultados efetivos	Abordagem do Risco (baseado na Equação II)
(A)	Erosão costeira causada por marés meteorológicas associadas a tempestades costeiras e furacões	Elevação; vegetação; configuração da face praial e da plataforma; taxas de erosão; configuração do perfil praial, das falésias e das dunas; frequência de sobrelavagem; estruturas costeiras; proximidade de *inlets* ou desembocaduras de rios; potencial para formação de *inlet*; drenagem do solo e outras feições	Diagnóstico da erosão costeira baseado na avaliação de geoindicadores, com recomendação de ações de mitigação para cada segmento costeiro analisado	Os termos da equação que descreve o risco não foram calculados/estimados
(B)	Erosão costeira associada ao aumento do nível do mar e a marés meteorológicas	Cenários de aumento do nível do mar para 50 e 100 anos; taxas de erosão associadas ao aumento do nível do mar estimadas com base na regra de Brunn; erosão causada pela tempestade costeira com período de retorno de 50 anos	Mapas de risco produzidos de acordo com os conceitos e a metodologia proposta pelos autores (ver Tabela 3)	As consequências (um dos termos da equação que descreve o risco) foram estimadas em termos monetários e a incerteza foi abordada por meio da inclusão dos períodos de retorno dos processos considerados
(C)	Erosão costeira	Número de indicadores de erosão encontrados ao longo da linha de costa e sua distribuição espacial	Mapa de risco à erosão baseado na diversidade e distribuição espacial de indicadores de erosão	As consequências (um dos termos da equação que descreve o risco) foram indiretamente descritas por meio dos indicadores, porém a incerteza não foi abordada

Tabela 5 (Continuação) – Perigos considerados, variáveis e resultados apresentados em cada um dos estudos analisados.

Estudo	Perigos/eventos	Variáveis utilizadas	Resultados efetivos	Abordagem do Risco (baseado na Equação II)
(D)	Erosão costeira	Número de indicadores de erosão encontrados ao longo da linha de costa e sua distribuição espacial	Mapa de risco à erosão baseado na diversidade e distribuição espacial de indicadores de erosão	As consequências (um dos termos da equação que descreve o risco) foram indiretamente descritas por meio dos indicadores, porém a incerteza não foi abordada
(E)	Erosão costeira	Nível de erosão; ocupação humana; balanço sedimentar e presença de estruturas de defesa costeiras	Diagnóstico descritivo-qualitativo e comparativo, no qual um alto grau de risco está associado a áreas densamente povoadas sob erosão e com estruturas de defesa costeira; o resultado se assemelha a uma análise de vulnerabilidade costeira	Os termos da equação que descreve o risco não foram calculados/estimados
(F)	Erosão costeira causada por marés meteorológicas	Características geológicas e oceanográficas e registros de destruição/danos a edificações	O grau de risco é associado aos danos observados em edificações. Embora o termo risco seja utilizado no sentido de vulnerabilidade, esta é estimada apenas com base nas características naturais de cada praia e o estudo acaba por analisar o impacto da erosão de curto prazo	As consequências (um dos termos da equação que descreve o risco) foram qualitativamente descritas, porém a incerteza não foi abordada

Tabela 5 (Continuação) – Perigos considerados, variáveis e resultados apresentados em cada um dos estudos analisados.

Estudo	Perigos/eventos	Variáveis utilizadas	Resultados efetivos	Abordagem do Risco (baseado na Equação II)
(G)	Erosão de curto-termo	Instabilidade, densidade populacional, localização das construções em relação às feições da praia	O grau de risco é associado à instabilidade do sistema praial e à posição e densidade das construções ali localizadas	As consequências (um dos termos da equação que descreve o risco) foram contempladas pela análise, porém a incerteza não foi abordada
(H)	Erosão costeira	Geometria, sedimentologia e morfodinâmica de diversos setores do ambiente praial	Análise de vulnerabilidade conduzida em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), com uso de lógica *fuzzy*	Os termos da equação que descreve o risco não foram calculados/estimados
(I)	Mobilidade da linha de costa devido à recorrente erosão e submersão	Informação qualitativa relacionada aos perigos, eventos, gerenciamento, sistema, contexto e percepção de risco	Análise multicritério baseada em cinco eixos distintos, cada um com seus próprios descritores, integrados por meio de um diagrama radial	Os termos da equação que descreve o risco não foram calculados/estimados
(J)	Erosão costeira	Alternativas para lidar com a erosão, apontadas pelos tomadores de decisão por meio de entrevistas e informações	Avaliação das alternativas para lidar com a erosão, feita por meio de análise multicritério e baseada na opinião de atores sociais envolvidos na gestão do problema	Os termos da equação que descreve o risco não foram calculados/estimados

Tabela 5 (Continuação) – Perigos considerados, variáveis e resultados apresentados em cada um dos estudos analisados.

Estudo	Perigos/eventos	Variáveis utilizadas	Resultados efetivos	Abordagem do Risco (baseado na Equação II)
(K)	Aspectos e processos costeiros diversos (morfologia da antepraia; erosão e inundação por marés meteorológicas e ondas de tempestade; ocorrência de sangradouros; banho de mar associado à morfodinâmica de praias; deposição de lama fluida na praia e zona de arrebentação; movimentação de areia pelo vento)	Geomorfologia da costa; indicadores de erosão; dados meteorológicos; perfis de praia e parâmetros morfométricos associados; dados de refração de ondas	Os principais perigos costeiros são identificados e suas causas são descritas com base em dados apresentados	O estudo se limita ao primeiro estágio da avaliação de risco, ou seja, a identificação dos perigos

Tabela 5 (Continuação) – Perigos considerados, variáveis e resultados apresentados em cada um dos estudos analisados.

Estudo	Perigos/eventos	Variáveis utilizadas	Resultados efetivos	Abordagem do Risco (baseado na Equação II)
(L)	Erosão de curto-termo causada por marés meteorológicas associadas a marés de sizígia	Evolução da linha de costa; vulnerabilidade à sobrelavagem; ocupação; vias; vegetação; intervenção humana	A informação é codificada em pesos e integrada numa análise de vulnerabilidade	Os termos da equação que descreve o risco não foram calculados/estimados
(M)	Erosão induzida por tempestades (de curto-termo); inundação induzida por tempestades; erosão de longo-termo; enchente; presença de cnidários; poluição; e usos humanos	Retração da linha de costa; *run up*; taxa de erosão; concentração de cnidários durante o verão; qualidade da água durante o verão; densidade de usuários da praia; tipo de urbanização da hinterlândia, entre outros	Cálculo da probabilidade de ocorrência de cada perigo (expresso sob a forma de período de retorno), bem como sua intensidade, em adição à estimativa do valor dos serviços ecossistêmicos	O risco é calculado como produto da intensidade dos perigos e dos valores dos serviços ecossistêmicos; a incerteza é contemplada por meio dos períodos de retorno

Tabela 5 (Continuação) – Perigos considerados, variáveis e resultados apresentados em cada um dos estudos analisados.

Estudo	Perigos/eventos	Variáveis utilizadas	Resultados efetivos	Abordagem do Risco (baseado na Equação II)
(N)	Erosão (perda de volume do perfil) induzida por tempestades	Períodos de retorno de volumes erodidos associados a períodos de retorno de eventos de tempestade	Utiliza modelagem numérica no intuito de estimar a perda sedimentar do perfil após tempestades com distintos períodos de retorno e associa ambas as variáveis	Aborda tanto a incerteza quanto as consequências dos eventos considerados (ambos os termos da equação que descreve o risco), sem, no entanto integrá-las numa escala/classificação de risco (observa-se que este não é o propósito do artigo)
(O)	Ação energética do mar e seus impactos	Topografia; ocupação; altura de onda; taxas de deslocamento de linha de costa; geologia; geomorfologia; variação de maré; informações relacionadas às atividades econômicas, densidade populacional, ecologia e patrimônio	Cruzamento de dados qualitativos sobre exposição e vulnerabilidade, com atribuição de escala de risco	Os termos da equação que descreve o risco não foram calculados/estimados
(P)	Estratégias de gestão inapropriadas e a resultante intensificação da erosão da praia/duna	Taxas de deslocamento de linha de costa e informações sobre ocupação, impactos e gerenciamento	Análise de deslocamento de linha de costa e de impacto para o sistema praia-duna; descrição e comparação entre diferentes práticas de gerenciamento aplicadas a praias e dunas	Não foram abordados os termos da equação que descreve o risco (de qualquer forma, este não era um objetivo do estudo)

Tabela 5 (Continuação) – Perigos considerados, variáveis e resultados apresentados em cada um dos estudos analisados.

Estudo	Perigos/eventos	Variáveis utilizadas	Resultados efetivos	Abordagem do Risco (baseado na Equação II)
(Q)	Erosão estrutural (de médio e longo-termos) e aguda (de curto-termo)	Variáveis geoambientais e socioeconômicas (tipo de substrato, taxa de evolução de linha de costa, altura de onda, aumento do nível relativo do mar, maré meteorológica, densidade populacional, uso do solo, taxa de urbanização, entre outras)	Com uso de lógica *fuzzy* e álgebra de mapas, associa pesos a cada uma das variáveis e integra os valores num denominado "mapa de risco"	Os termos da equação que descreve o risco não foram calculados/estimados
(R)	Erosão (retração da linha de costa)	Deslocamento da linha de costa estimado com o uso de modelagem numérica a partir de diferentes cenários de ondas	Utiliza modelagem numérica para criar diferentes cenários de clima de onda, os quais são usados em simulações que consideram as características sedimentares e as condições de contorno para estimar o deslocamento da linha de costa. A partir dos resultados, são atribuídos diferentes níveis de risco	As consequências (um dos termos da equação que descreve o risco) foram contempladas pela análise, porém a incerteza não foi abordada
(S)	Erosão	Indicadores de susceptibilidade (largura e declividade da praia, variações de volume, energia de onda, áreas vegetadas) e de exposição (relacionados às construções)	Integra dados de campo num modelo para avaliar a vulnerabilidade à erosão e produzir mapas de risco. O risco é baseado na exposição e vulnerabilidade	Os termos da equação que descreve o risco não foram calculados/estimados

2.5 DISCUSSÃO

Estado-da-arte dos estudos de risco aplicados à erosão costeira

Nas últimas décadas, em virtude da maior divulgação acerca dos perigos costeiros e do cenário de mudanças climáticas e, ainda, do aumento da frequência e magnitude dos eventos a esses associados, é possível observar que houve um aumento do volume de estudos que tratam dos temas de interesse deste Capítulo (ver Figura 4).

Um primeiro aspecto que chama atenção nos estudos aqui analisados é o fato de que durante a execução da análise de risco, na maioria dos casos, os autores não são fiéis ao conceito mencionado por eles próprios, tampouco ao conceito apropriado do risco, conforme a métrica da equação apresentada anteriormente (ver Introdução). De maneira geral, são feitas nestes trabalhos análises de vulnerabilidade, ou relacionados valores de determinadas variáveis a graus de risco sem formalizar a estrutura da análise, conforme discutido a seguir, em ordem cronológica.

O primeiro artigo dedicado à temática do risco à erosão costeira data de 1999 (Estudo A – ver Tabela 1). Nele, Bush *et al*. (1999) objetivam produzir um mapa de risco e propõem uma metodologia baseada em geoindicadores qualitativos para realizar uma análise rápida de riscos costeiros. Trata-se de uma metodologia útil, em especial nos casos em que recursos ou dados são limitados. Os perigos abordados pelo estudo incluem a erosão costeira associada a marés meteorológicas promovidas por tempestades e furacões. Os autores não conceituam o termo risco, porém fica evidente que o mesmo é utilizado em determinados momentos no sentido de vulnerabilidade (referindo-se às características intrínsecas ao ambiente praial sujeito à erosão). Entretanto, na sua aplicação fica claro que se trata de um diagnóstico da erosão costeira baseado na análise de geoindicadores, além da sugestão de ações de mitigação para cada segmento analisado. Probabilidades não são abordadas, assim como os períodos de retorno dos processos analisados. Por sua vez, as consequências estão contempladas indiretamente, de forma tal que o conceito de risco, conforme a métrica da equação apresentada na seção Risco, não foi seguido.

Em Greve *et al.* (2000) (Estudo B), a proposta é estimar os riscos que as áreas costeiras podem enfrentar face aos impactos das mudanças climáticas. O risco é definido como função dos perigos e da vulnerabilidade ao longo do tempo. O aumento do nível do mar e a ocorrência de marés meteorológicas associadas a tempestades são considerados como perigos e os autores fazem uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para estabelecer áreas "perigosas". A vulnerabilidade é estimada a partir das perdas de áreas da praia ou de edificações, que podem ser expressas em termos monetários. A identificação de áreas de risco extremo resulta da sobreposição entre áreas de alta vulnerabilidade e alto risco. Entre os estudos analisados, este é um dos que mais se aproximam da métrica apresentada na Equação II, visto que se utiliza do conceito de período de retorno para lidar indiretamente com a incerteza.

Souza (2002) (Estudo C) apresenta um conceito que remete à dimensão "consequências" do risco, a saber: *"expectativa de vidas perdidas, pessoas lesionadas, danos a propriedades e prejuízos econômicos relacionados a um perigo natural"*. Como perigo é considerado o processo de erosão costeira e um zoneamento de risco é apresentado com base em dois critérios principais: o número de indicadores de erosão registrados e sua distribuição espacial. O artigo aborda os efeitos da erosão costeira (consequências), sem, no entanto, abordar a incerteza, se assemelhando a um diagnóstico do litoral no que se refere à erosão costeira com base em indicadores.

Por sua vez, Souza e Suguio (2003) (Estudo D) objetivam apresentar uma classificação de risco. Neste estudo, o risco é definido como uma ferramenta analítica passível de uso para estimar o potencial de impactos adversos das atividades antrópicas e, ainda, como função da exposição e do perigo. Tal como no artigo anterior, os autores utilizam o número de indicadores de erosão e a sua distribuição espacial para estabelecer graus de risco, resultando num diagnóstico da erosão costeira no estado de São Paulo com base neste critério. Da mesma forma, somente o segundo termo da equação que descreve o risco é contemplada no estudo (consequências/impactos).

Veloso-Gomes *et al.* (2004) (Estudo E), propõem discutir níveis de risco à erosão. Embora o termo "risco" não seja explicitamente definido, é possível observar que o

mesmo é utilizado no sentido de vulnerabilidade. Os autores apresentam uma breve descrição qualitativa de cada segmento costeiro estudado, contemplando aspectos como processo erosivo, balanço sedimentar, assentamentos humanos e estruturas de proteção costeira. Áreas de alto risco são associadas àquelas com características como alto grau de ocupação humana e existência de estruturas de proteção da costa. Trata-se de uma análise similar às de vulnerabilidade, na qual os autores não abordam os termos da equação que descreve o risco.

Simó e Horn Filho (2004) (Estudo F) têm como objetivo identificar e delimitar áreas de risco associado à erosão promovida por marés meteorológicas. O estudo não apresenta uma definição de risco, mas associa o mesmo aos danos (consequências) observados em edificações costeiras mediante a ocorrência de marés meteorológicas (conhecidas como "ressacas"), as quais são ainda caracterizadas em termos de fatores desencadeantes e épocas de ocorrência. Os termos que descrevem o risco são parcialmente contemplados, uma vez que as consequências dos eventos considerados são qualitativamente avaliadas. No entanto, aspectos relacionados à incerteza não são abordados.

Lins-de-Barros (2005) (Estudo G) apresenta como objetivo definir áreas críticas e de risco potencial à erosão costeira. A autora propõe e aplica uma metodologia segundo a qual o grau de risco é associado à instabilidade local combinada à densidade de construções na orla e à posição das construções em relação às feições da praia ao longo do perfil transversal. Não é definido o termo "risco", porém, é estabelecido que o mesmo *"deve considerar a maior ou menor exposição das estruturas ou da população a eventos que podem causar danos*". Embora sejam abordadas as consequências dos eventos erosivos (tanto potenciais quanto observadas), não está contemplada a incerteza na análise apresentada, não estando esta, portanto, em consonância com a métrica da Equação II.

Khoshravan (2007) (Estudo H) propõe calcular o grau de risco à erosão em seis praias localizadas no litoral do Mar Cáspio. A análise é feita com base em informações geométricas, sedimentológicas e morfodinâmicas das praias, de forma semi-

quantitativa e com uso de SIG e lógica difusa (ou *fuzzy*). Embora mencione "risco" no título, o estudo não conceitua formalmente o termo, tampouco é executada uma análise de risco, segundo as definições aqui adotadas. Entre os resultados apresentados, figura um mapa de vulnerabilidade à erosão.

Méur-Ferec *et al.* (2008) (Estudo I) apresentam os resultados de um programa voltado para os riscos associados à mobilidade costeira em função da recorrente erosão e submersão. O perigo considerado é a erosão costeira e os autores definem risco como o *"resultado da convergência de um (ou mais) perigos e uma (ou mais) questões*" – sendo que as questões às quais se refere são definidas como "*o valor humano, econômico ou ambiental dos elementos expostos aos perigos*". Os autores conduzem uma análise de vulnerabilidade baseada em cinco dimensões distintas, ou eixos (perigos, eventos, questões, contexto ou sistema, gerenciamento e percepção) com base em informações qualitativas codificadas, resultando num diagrama radial representativo da vulnerabilidade para cada praia analisada. A análise realizada não incorpora a probabilidade de ocorrência dos eventos ou outra forma de lidar com a incerteza, tampouco estima as consequências do mesmo. De fato, na descrição da metodologia, os autores mencionam que analisam a vulnerabilidade por meio do cruzamento de quarto fatores: exposição ao risco, gerenciamento do risco, "memória" do risco e percepção do risco por parte daqueles ameaçados pelo perigo. O mesmo é reforçado nos resultados, onde os autores afirmam se tratar de uma análise de vulnerabilidade.

Datado de 2008, o artigo de Roca *et al.* (Estudo J) visa avaliar diferentes estratégias para lidar com os riscos à erosão costeira. Os autores usam o termo risco ora no sentido de perigo, ora no sentido de vulnerabilidade e realizam uma análise multicritério para avaliar as principais alternativas apontadas por diferentes atores sociais para lidar com a problemática da erosão costeira num trecho do litoral da Thau Lagoon (França). Trata-se de uma ferramenta potencialmente útil à gestão costeira, que, no entanto, não se relaciona com uma análise de risco, uma vez que não lida com a frequência de ocorrência de eventos ou com as suas consequências.

Calliari *et al.*, em seu estudo publicado em 2010 (Estudo K), propõem descrever os perigos naturais e riscos incidentes na costa do Rio Grande do Sul (Brasil), apontando e discutindo suas causas com base em dados, inclusive quantitativos. Não são apresentados conceitos de risco ou perigo e, embora os autores mencionem ambos os termos, fica claro que o estudo se limita à primeira etapa da análise de risco, ou seja, à identificação dos perigos, não abordando o risco propriamente dito.

Em Ceia *et al*. (2010) (Estudo L) é proposta uma delimitação das áreas de risco em ilhas-barreira localizadas em um Parque Natural do litoral de Portugal. O perigo considerado pelos autores é a erosão de curto-termo causada por marés meteorológicas associadas a marés astronômicas de sizígia. Os autores não conceituam o termo risco e, embora não o façam também para a vulnerabilidade, deixam claro que se trata de uma análise deste tipo. A metodologia utilizada para definição de áreas de alto risco não é bem definida e os autores mencionam que ela é baseada na vulnerabilidade costeira, a qual é calculada mediante integração de características da costa relacionadas à sua evolução e ocupação. Finalmente, são estabelecidas áreas críticas, sem, no entanto, estimar consequências ou probabilidade de ocorrência dos eventos considerados.

Lozoya *et al.* (2011) (Estudo M) propõem uma estrutura para análise de risco na qual perigos costeiros e serviços ecossistêmicos são considerados conjuntamente. Desta forma, é proposta uma análise de risco que contempla perigos diversos, incluindo: erosão induzida por tempestades (de curto-termo); inundação induzida por tempestades; erosão de longo-termo; enchente; presença de cnidários; poluição e usos humanos. No que se refere ao conceito, risco é descrito como produto do perigo, exposição e consequência, ou ainda como a combinação entre a probabilidade e a severidade das consequências. Na execução da sua análise, os autores expressam a incerteza relacionada aos perigos por meio do cálculo dos períodos de retorno e calculam ainda as intensidades associadas a estes perigos, numa primeira etapa, denominada “análise de perigo”. Para o cálculo efetivo do risco, é considerado o produto de intensidades dos perigos e valores dos serviços dos ecossistemas. Embora não tenha sido na etapa que estima o risco efetivamente, são considerados na análise

tanto as incertezas, quanto as consequências. Desta forma, o estudo está entre os que foram mais fiéis ao conceito do risco, tanto na sua descrição quanto na sua execução.

Corbella e Strech (2012) (Estudo N) não propõem exatamente uma análise de risco. O estudo objetiva, por meio de simulações, correlacionar eventos históricos com diferentes períodos de retorno a períodos de retorno de volumes erodidos. Embora os autores não mencionem o conceito de risco e não atribuam graus de risco ao final da análise, o estudo faz uso da mesma lógica da equação que descreve o risco (Equação II), levando em consideração tanto a frequência de ocorrência de determinados eventos quanto as suas consequências.

Pereira e Coelho (2012) (Estudo O) propõem avaliar vulnerabilidade, exposição e risco num segmento costeiro. Os autores adotam uma abordagem semi-quantitativa para cruzar, numa matriz de risco, os dados relacionados à vulnerabilidade (características físicas) e à exposição (características socioeconômicas e ecológicas) no intuito de estabelecer diferentes categorias de risco à ação energética do mar. Embora o conceito apresentado para o risco esteja de acordo com a métrica apresentada na Equação II, na execução da análise, tal conceito não é seguido, posto que não aborda a incerteza.

Em Roig-Munar *et al.* (2012) (Estudo P), embora o título do estudo seja sugestivo da implementação de uma avaliação de risco, é realizada uma análise multivariada com base em variáveis relacionadas ao uso, ao gerenciamento e às feições do sistema praial, incluindo as dunas. Adicionalmente, são descritas práticas de gestão apropriadas para as dunas frontais, as quais permitam a recuperação de ambientes degradados por atividades humanas. A métrica da equação que descreve o risco não é considerada nem conceitualmente nem na execução da análise. O foco do estudo é a gestão do ambiente e o mesmo não se trata de uma análise de risco, tampouco de vulnerabilidade.

Em Luo *et al.* (2013) (Estudo Q), os autores propõem descrever e mapear o nível relativo de risco à erosão. Para tanto, é criada uma estrutura hierárquica de

indicadores relacionados a perigos geoambientais e à vulnerabilidade socioeconômica, com uso de métodos *fuzzy.* A análise considera como perigos, tanto a erosão estrutural (de longo-termo) quanto a aguda (de curto-termo), além da extensão da exposição e das deficiências na capacidade de lidar com o problema da erosão costeira. Como produtos, são apresentados mapas contendo distintos graus do que os autores denominam "risco integrado". Embora conceituem corretamente o termo risco e desenvolvam uma análise potencialmente útil para subsidiar a gestão da erosão costeira, não se trata de uma análise de risco efetivamente, uma vez que não é abordada a probabilidade ou outra forma de lidar com a incerteza.

Pereira e Coelho (2013) (Estudo R) utilizam cenários distintos para altura de onda de tempestade, mudança de direção de incidência e aumento do nível do mar para aplicar um modelo numérico de evolução de linha de costa. No modelo são considerados o transporte ao longo da costa, as características do sedimento e as condições de contorno para estimar a possível retração da linha de costa, bem como as áreas potencialmente perdidas em cada cenário. Embora não conceituem o termo risco, os autores se utilizam da lógica que embasa o termo para realizar a análise, combinando informações relacionadas à frequência dos eventos considerados (expressa sob a forma de período de retorno) e às suas consequências (retração e área perdida). Posteriormente, de acordo com a frequência com que áreas são perdidas diante do total de simulações, são estabelecidas áreas de maior ou menor risco.

Finalmente, Bio *et al*. (2015) (Estudo S) têm como objetivo avaliar os níveis de erosão para o litoral de Vila Nova de Gaia. Para tanto, se utilizam de dados de campo e de um modelo baseado em um SIG que integra análise de vulnerabilidade e exposição à erosão. Combinados, tais dados são usados para produzir os mapas de risco. Os autores não conceituam o termo risco, mas ele é usado no sentido de vulnerabilidade ou susceptibilidade à erosão e os termos que descrevem o risco não são contemplados.

Rumo a uma metodologia de avaliação de risco aplicado à erosão costeira

Os artigos levantados incluem praias diversas em localidades distintas e fazem importantes contribuições para a gestão costeira. No entanto, sua análise demonstra que o conceito do risco raramente é explicitamente definido e seguido na sua aplicação à erosão costeira, particularmente no que diz respeito à probabilidade ou a outra maneira de abordar a incerteza. Uma vez que a incerteza é um componente essencial do risco (AVEN, 2011), a análise de risco deve, entre seus objetivos, descrever tal aspecto, conforme discutido a seguir.

A literatura existente acerca dos perigos, vulnerabilidade e risco mostra diferentes definições e conceitos subjacentes a esses termos (GREIVING *et al.*, 2006). A análise cuidadosa dos artigos permitiu observar que termos como “perigo” e “vulnerabilidade”, são muitas vezes utilizados para descrever o risco e vice-versa. Pearce (1991) acrescenta que, embora seja útil para o planejamento e gestão da zona costeira, a predição de risco é controversa. Não há adesão fiel ao conceito de risco, tampouco são elucidados os conceitos e metodologias adotadas, o que torna tais análises, além de subjetivas, muitas vezes confusas.

O discernimento de termos como perigo, vulnerabilidade e risco (ver capítulo anterior) é crucial na estruturação e execução de uma avaliação de risco, razão pela qual a UNISDRT (2009) desenvolveu um glossário para padronização da terminologia voltada para a redução do risco de desastres, conforme anteriormente mencionado. Iniciativas desta natureza podem promover um entendimento comum sobre o assunto para utilização pelo público em geral, por autoridades e pelos profissionais interessados.

Segundo Pereira e Coelho (2013), não existem metodologias internacionalmente estabelecidas para classificar e mapear o risco à erosão. Em uma tentativa de aplicar o conceito do risco, muitos autores utilizam Sistemas de Informação Geográfica - bastante apropriados, considerando a dimensão espacial de tais estudos - ou ainda modelagem numérica. Análises multivariadas e multicritério também têm sido utilizadas.

Independentemente da abordagem, a maioria dos estudos aqui revisados, embora de grande importância para a ciência e a gestão das zonas costeiras, se limita a avaliar a vulnerabilidade, os perigos, a fazer diagnósticos sobre o processo erosivo ou ainda sobre como o mesmo é tratado/gerenciado. Alguns estudos estimam as consequências ou impactos relacionados aos riscos, outros estimam, além das consequências, parâmetros associados com a probabilidade de ocorrência dos eventos em questão, sem, no entanto, integrá-los. Finalmente, poucos deles associam aspectos relacionados à frequência do evento de interesse às suas consequências em termos da morfologia da praia ou outros parâmetros. Poucos estudos, ainda, têm metodologias viáveis e eficazes para que os riscos costeiros sejam compreendidos, tratando-os de forma limitada ou incompleta e, na maioria dos casos, não aderindo ou operacionalizando o conceito do risco nos termos de Equação II.

Em relação à incerteza, várias técnicas estão disponíveis para tratá-la, tais como análise probabilística, análise *fuzzy*, análise bayesiana, técnicas de *soft-computing* e técnicas de classificação *rule-based* (DUTT; KURIAN, 2013). No entanto, de acordo com Zio e Pedroni (2013), a análise probabilística é o método mais utilizado para caracterizar a incerteza nos sistemas e modelos físicos. Em ambientes costeiros, uma forma de lidar com probabilidade é através do conhecimento dos períodos de retorno de eventos mais energéticos, tais como ondas mais altas ou tempestades. Nos estudos aqui analisados, embora os autores façam uso de inúmeras variáveis (físicas, geomorfológicas, sociais, econômicas, ecológicas, entre outras), séries históricas a partir das quais é possível chegar à frequência/períodos de retorno de certos processos/eventos raramente são contempladas. O mesmo ocorre tanto devido à abordagem metodológica adotada pelos autores, quanto à indisponibilidade de tais dados, e pode comprometer a análise de risco.

É conhecido que muitas áreas costeiras estão sujeitas a eventos relacionados a desastres naturais e/ou induzidos a partir de ações antropogênicas (FREITAS *et al.*, 2010). Eventos como o recuo da linha de costa e as inundações costeiras podem ser associados à escassez de sedimentos, ao aumento do nível do mar, a tempestades e, em casos extremos, a *tsunamis* (FERREIRA *et al*., 2006). De acordo com NOAA (2013),

as principais tipologias de perigos costeiros incluem tempestades costeiras, inundações, erosão costeira, *tsunamis* e subsidência de terrenos. A identificação dos perigos é o primeiro passo para implementar uma análise de risco adequada e deve ser feita levando em consideração as particularidades da área de estudo em termos de tipologia da costa, condições oceanográficas e meteorológicas e geodinâmica.

Por sua vez, as perdas associadas a perigos naturais têm sido significativas em áreas costeiras, principalmente em áreas de elevada densidade populacional (SMALL *et al*., 2000) e que concentram estruturas suscetíveis a danos (MARTINEZ *et al*., 2007). De acordo com a Rede Atlântica de Riscos Costeiros (ANCORIM, 2012), entre as principais consequências indesejadas relacionadas à erosão costeira, é possível listar aquelas que têm impactos sobre os sistemas humanos (prejuízos às atividades de turismo e lazer, desaparecimento de praias ou vias costeiras, efeitos sobre pesca, aquicultura e agricultura e danos ao ambiente construído, propriedades e infraestrutura) e aqueles cujos impactos recaem sobre os sistemas naturais (perda de litoral, de zonas úmidas, supressão da fauna e flora associadas aos ambientes costeiros, instabilidade de falésias, mudança nos ecossistemas de dunas, entre outros). Os efeitos dos perigos costeiros são muitas vezes agravados pela interação com outros perigos ou por se manifestarem em áreas de elevada vulnerabilidade, o que impõe a necessidade de uma gestão de perigos orientada espacialmente (GREIVING *et al*., 2006).

O aquecimento global e o aumento do nível do mar podem aumentar a gravidade e a frequência das tempestades costeiras, aumentando a intensidade dos impactos (ou consequências) relacionados aos perigos costeiros (ROCA *et al*., 2008) e, consequentemente, exigindo uma maior atenção à questão. A demanda por análises de risco que considerem o ambiente e os perigos costeiros é real e extrapola a curiosidade acadêmica. Embasando tal afirmação, como exemplos, podem ser citados os resultados do Projeto Eurosion (EUROPEAN COMMISSION, 2004), que sugerem a incorporação de mapas de vulnerabilidade e risco à erosão aos planos de ordenamento territorial. Outro projeto que sugere a aplicação do conceito de gestão dos riscos costeiros é o MICORE (2011), o qual enfatiza a importância da criação de sistemas de alerta com base no nível de risco à erosão. Finalmente, no ano de 2012, o

IPCC afirmou que as oportunidades para gerenciar o risco associado a desastres climáticos existem ou podem ser desenvolvidas em qualquer escala.

No que tange à execução da avaliação de risco, de acordo com Meur-Ferec *et al*. (2008), a subjetividade é uma característica inerente à mesma. Uma avaliação de risco consiste não só em contextualizar os riscos e seus problemas associados, mas também em determinar em termos qualitativos e quantitativos o significado de tais riscos (SMITH, 2001). Consequentemente, na avaliação, todos os riscos de uma área específica devem ser considerados (GREIVING *et al*., 2006).

Em relação à distribuição espacial dos estudos analisados, há uma maior concentração de estudos nos seguintes países: Brasil (litoral Sul e Sudeste), Portugal, Espanha e França. Esta distribuição reflete, essencialmente, como o problema da erosão e/ou das inundações costeiras afetam as comunidades locais. Em geral, estas são áreas de elevada densidade populacional, com presença de *resorts* costeiros e cuja economia depende, pelo menos parcialmente, do turismo de sol e mar. Ademais, a distribuição espacial dos estudos analisados é determinada pela magnitude e frequência dos processos costeiros.

Com base na análise de documentos relativos a nove países europeus, Ferreira *et al*. (2009) mencionaram que não há consenso, política ou abordagem comuns na Europa no que se refere aos perigos costeiros, o que tem estimulado iniciativas nesse sentido (por exemplo, o Projeto MICORE, anteriormente citado). Até então, a resposta da comunidade internacional a desastres na costa tem sido principalmente reativa, com poucos recursos investidos na prevenção. Mesmo se houvesse uma vontade de investir na prevenção, seria essencial saber inicialmente onde concentrar esforços (PEDUZZI, 2006 *apud* TAUBENBOCK *et al.*, 2008), o que reforça a importância das análises de vulnerabilidade e o estabelecimento de áreas prioritárias para a execução de avaliações de risco. Adicionalmente, deve haver uniformidade quanto ao conceito de risco e consenso sobre a aceitação da métrica da equação que o representa. Assim, seria possível o desenvolvimento de uma metodologia comum – porém passível de

adaptação - para análise de risco de forma mais apropriada e com maior potencial de uso.

Enquanto a análise de risco consiste numa metodologia que combina probabilidade de ocorrência e consequências de um determinado evento, a avaliação de risco inclui ainda a compreensão e a interpretação do risco e da tolerância da sociedade para orientar decisões e ações no processo de gerenciamento deste (FLOODSite, 2009; REESE; MARKAU, 2002; IPCC, 2012). As etapas metodológicas necessárias para ambas são apresentadas no fluxograma da Figura 7, bem como detalhadas a seguir, com base em Jelínek e Krausmann (2009), Duarte e Droguett (2012), Duarte *et al.* (2013) e Modarres (2006). A metodologia é fiel à Equação II e leva em consideração as ideias dos estudos aqui analisados, estando adaptada para as zonas costeiras. Trata-se de uma primeira tentativa de estruturar a análise/ avaliação de risco, que considera os conceitos acima e tem a intenção de evoluir a partir dos artigos revisados. A figura mostra um processo contínuo/cíclico devido à dinâmica da zona costeira e, consequentemente, dos problemas costeiros, como a erosão, os quais requerem um gerenciamento adaptativo.

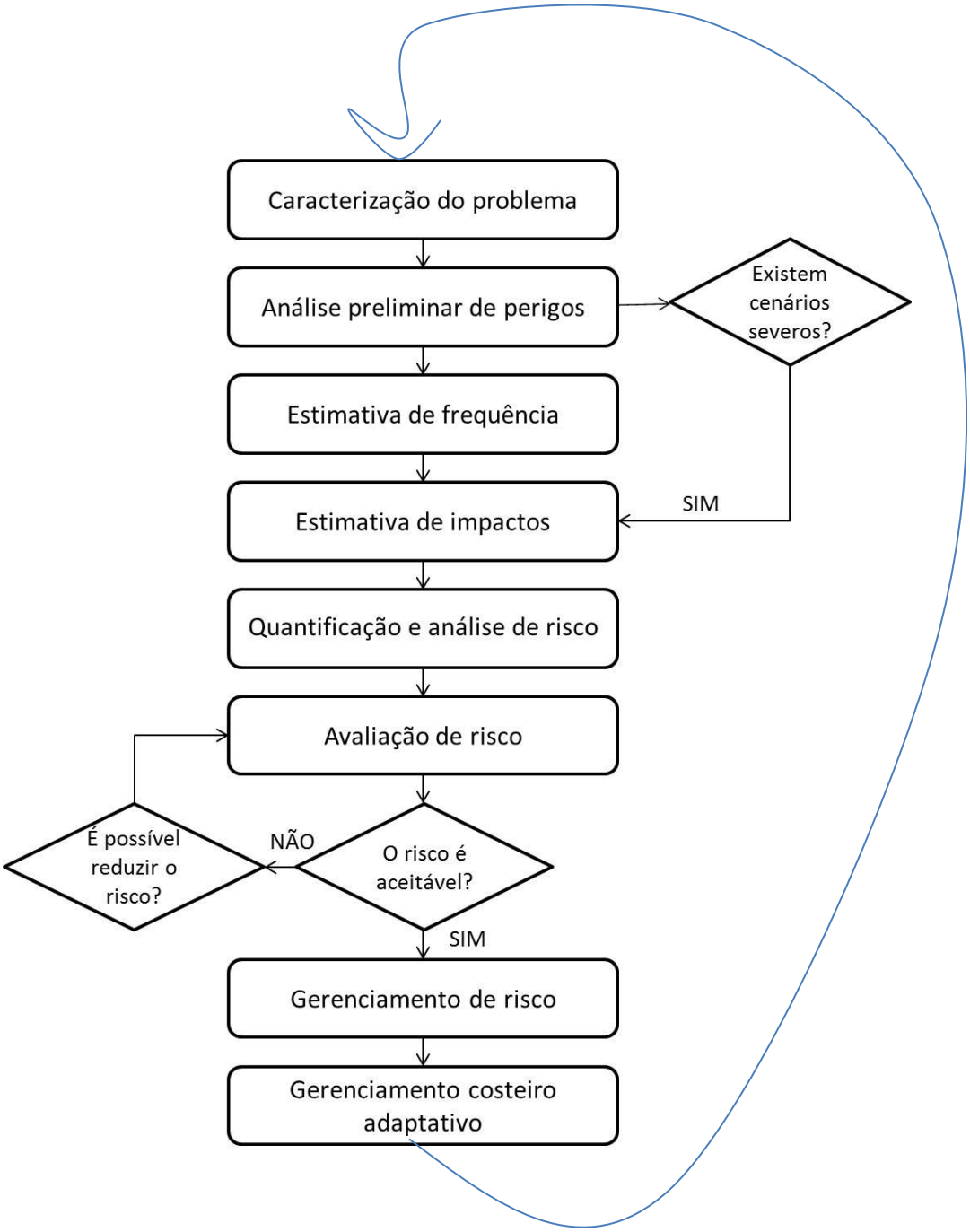


Figura 7 – Etapas metodológicas necessárias à análise e à avaliação de risco (adaptado de CETESB, 2003; DUARTE; DROGUETT, 2012; DUARTE *et al.,* 2013) no contexto do gerenciamento costeiro.

Os estágios da metodologia apresentada na figura acima são detalhados a seguir, com base em Jelínek e Krausmann (2009), Duarte e Droguett (2012), Duarte *et al.* (2013) e Modarres (2006):

(i) Caracterização do problema: descrição do sistema a ser analisado, propósito da análise, definição da área, escala, nível de detalhe e tipo de análise;

(ii) Análise preliminar de perigos: etapa qualitativa da análise de risco que objetiva identificar todos os eventos iniciadores de incidentes, com consolidação dos cenários acidentais e hierarquização dos riscos associados;

(iii) Estimativa de frequências: identificação dos períodos de retorno dos perigos acima citados ou do número de vezes que o cenário ocorre, sendo normalmente, expressa em uma base anual, tendo dimensão de tempo^{-1};

(iv) Estimativa de consequências: perdas produzidas pela exposição ao perigo, podendo ser estimada qualitativa ou quantitativamente;

(v) Quantificação, avaliação/gerenciamento de risco: a estimativa e avaliação dos riscos é a etapa final de uma avaliação quantitativa de riscos e, portanto, é onde os resultados são calculados e apresentados.

2.6 CONCLUSÃO

O inventário dos artigos analisados neste estudo alerta para o reduzido número de publicações dedicadas à análise e/ou avaliação de risco aplicadas à erosão costeira, apesar de apontar para um incremento dos mesmos nos últimos anos. Estudos desta natureza têm sido propostos nas zonas costeiras em todo o mundo e têm um grande potencial para atender às demandas de governo por informações que subsidiem a tomada de decisão (*risk-informed*) e a gestão costeira.

A diversidade de abordagens metodológicas reflete o crescente interesse pelo assunto. Aqui, destaca-se a importância e a necessidade do uso de séries temporais de parâmetros oceanográficos e meteorológicos para o estudo da frequência de eventos

relacionados aos perigos considerados numa avaliação do risco. Tais dados constituem uma maneira acessível de lidar com a incerteza em ambientes costeiros.

Os estudos realizados até o momento representam uma tentativa inicial de compreender e antever o comportamento dos ambientes praiais, aproximando sua dinâmica. No entanto, ainda existem grandes extensões do litoral nunca estudadas sob esta ótica. A perspectiva é de que o conhecimento sobre o assunto aumente consideravelmente, especialmente no contexto dos inúmeros problemas que vêm sendo associados à intensificação da erosão costeira. Acredita-se que a combinação desses dois fatores - o volume crescente de estudos e o aprofundamento sobre questões conceituais e metodológicas - permitirá uma melhor compreensão acerca das respostas da costa à energia imposta pelas diversas forçantes ali atuantes. Se integrados numa avaliação de riscos, os produtos assim gerados servirão para orientar ações de gestão corretivas e de emergência em áreas onde problemas relacionados com a integridade geomorfológica da costa já se fazem sentir, e de planejamento e prevenção, onde tais problemas são ainda incipientes.

Uma das principais contribuições deste estudo consiste na adaptação da metodologia proposta acima para a aplicação em um estudo de caso para a erosão costeira, podendo ainda ser adaptada para abordar outras questões relacionadas à gestão da zona costeira. Como sugestão para novas aplicações, uma forma de lidar com a incerteza é por meio da probabilidade, ferramenta facilmente obtida quando da existência de séries de dados, particularmente em relação às variáveis físicas (meteorológicas e oceanográficas) atuantes na zona costeira e do conhecimento dos períodos de retorno de eventos de alta energia. Desta forma, este estudo tem o potencial para apoiar o planejamento de novos estudos e políticas públicas destinadas à gestão costeira em relação ao processo de erosão. Adicionalmente, pretende-se estimular o pensamento crítico acerca do potencial de aplicação da análise e avaliação de risco à erosão costeira e de como estas ferramentas vem sendo utilizadas atualmente.

CAPÍTULO 3 | CARACTERIZAÇÃO DO LITORAL CENTRAL DE PERNAMBUCO (BRASIL) QUANTO AO PROCESSO EROSIVO EM CURTO E MÉDIO-TERMOS*

**Publicado em outubro de 2014 na edição especial sobre "O Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais" da revista Quaternary and Environmental Geosciences.*

REFERÊNCIA: MALLMANN, D. L. B.; ARAUJO, T. C. M. ; DROGUETT, E. L.. 2014. Caracterização do litoral central de Pernambuco (Brasil) quanto ao processo erosivo em curto e médio-termo. Quaternary and Environmental Geosciences, v. 05, p. 137-154.

SÍNTESE DO ARTIGO PUBLICADO (Apêndice I)

As praias arenosas apresentam variabilidade ao longo da costa em diferentes escalas espaço-temporais, a qual está associada à atuação individual ou conjunta de múltiplas forçantes e processos. O conhecimento sobre a forma como um sistema praial se comporta nas distintas escalas temporais é essencial, tanto para o desenvolvimento de projetos de proteção da costa quanto para o gerenciamento costeiro. Nas últimas décadas, a erosão costeira tem se tornado um problema de magnitude crescente nas praias do litoral central de Pernambuco. Os impactos relacionados ao processo erosivo têm sido observados em diversos pontos do litoral, especialmente nas áreas urbanas. Neste capítulo é apresentada uma síntese do artigo *"Caracterização do litoral central de Pernambuco (Brasil) quanto ao processo erosivo em curto e médio-termo"* (Apêndice I), publicado em outubro de 2014 na edição especial sobre "*O Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais*" da revista *Quaternary and Environmental Geosciences*.

No intuito de melhorar o entendimento acerca do processo erosivo em curso junto ao litoral central da Região Metropolitana do Recife em termos de espacialização do processo erosivo e escalas temporais envolvidas, foram analisadas alterações de curto e médio-termos, além de revisados estudos anteriores, analisados indicadores de erosão e inventariados registros do processo ao longo do litoral estudado. Para tanto, foram levantados, por meio de revisão

bibliográfica, os históricos do processo erosivo nos municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, além de obtidos junto ao banco de dados do Projeto MAI - (Monitoramento Ambiental Integrado) (FINEP/UFPE, 2009), dados sobre: presença e distribuição de indicadores de erosão; deslocamento de linha de costa; deslocamento da zona de interesse (primeira linha edificada à retrocosta); largura da praia e volume de perfis praiais. Adicionalmente, foram inventariados registros de episódios erosivos nos arquivos *online* dos principais jornais do estado. A análise de tais informações permitiu uma melhor compreensão acerca da distribuição dos problemas erosivos em função de registros, histórico, evidências e processos.

Os resultados obtidos mostraram que o processo não se comporta de maneira homogênea ao longo do litoral, o qual apresenta áreas em erosão intensa e outras nas quais o processo não ocorre ou é incipiente. Tampouco sob o ponto de vista temporal a área é homogênea, apresentando segmentos com distintos comportamentos da linha de costa nas diferentes escalas temporais consideradas. Foi possível observar que entre as áreas estudadas, o litoral de Paulista apresenta a maior criticidade no que se refere ao processo erosivo, o qual é relativamente recente e mais intenso junto a alguns segmentos. Em Olinda, a erosão pode ser considerada histórica e generalizada ao longo do litoral. As praias deste município atualmente refletem uma estabilidade decorrente da presença massiva de obras de engenharia costeira, com impactos às adjacências e ao perfil praial. Em Recife, as análises apontam para um processo mais pontual, cujos registros mais antigos datam da década de 90. Embora pontual, o processo tem se estendido para norte em decorrência da construção de um enrocamento, que tem sido aumentado ao longo dos anos. Finalmente, em Jaboatão dos Guararapes, o processo ocorre em diversos pontos e parece ter relação com obras construídas no intuito de conter o processo erosivo.

O estudo da evolução de médio-termo revelou que a linha de costa na RMR se comporta, para o período analisado, de maneira predominantemente estável, à exceção de alguns segmentos (Maria Farinha, Pau Amarelo, Enseadinha, Rio Doce III, Rio Doce I, Casa Caiada II, Carmo – extremidades - e Piedade Sul). Por outro lado, a aparente redução da pós-praia pôde ser confirmada pela análise combinada do deslocamento de linha de costa com o deslocamento da zona de interesse. Em curto-

termo, a análise evidenciou que algumas praias são mais propensas à erosão, notavelmente as praias de Enseadinha, Pau Amarelo, Nossa Senhora do Ó (Paulista) e Candeias (Jaboatão dos Guararapes), estando parcialmente de acordo com os registros dos jornais.

Embora os propósitos do estudo e a metodologia adotada não tenham permitido identificar as causas do processo erosivo, foi possível evidenciar uma componente antrópica importante para o desencadeamento e a intensificação da erosão na área, representada pelo avanço da ocupação sobre setores do sistema praial. Tais evidências, no entanto, não esgotam o conhecimento acerca dos fatores que contribuem para a manutenção do processo, endossando a necessidade de estudos que envolvam a análise de séries de parâmetros meteoceanográficos no intuito de melhor explicá-lo e de identificar os fatores naturais envolvidos.

Os resultados do estudo apontam para a necessidade de se considerar a variabilidade espaço-temporal das praias da RMR antes de qualquer intervenção que venha a ser feita. Ademais, demonstram a importância de se desenvolver programas ou ações de manejo costeiro que preconizem a manutenção/restauração dos setores do sistema praial, uma das principais demandas ambientais atuais na região. Tais ações permitiriam às praias um aumento da resiliência e da capacidade de atuar como zona de amortecimento para a energia imposta por ondas e marés, tendo importantes reflexos na proteção da costa e permitindo que, ainda diante das variações de curto-termo experimentadas pelas praias, sua integridade fosse mantida ao longo do tempo.

CAPÍTULO 4| CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS DE ALTA ENERGIA ASSOCIADOS À EROSÃO DE CURTO-TERMO NO LITORAL CENTRAL DE PERNAMBUCO

4.1 INTRODUÇÃO

O perfil praial e a linha de costa respondem às diversas forçantes que fornecem energia e *momentum* necessários aos processos costeiros. Em adição aos mecanismos de longo-termo, existem mecanismos atuantes na escala de curto-termo, cujo período varia da ordem de horas a dias (DEAN; DALRYMPLE, 2004). Variações de curto-termo no volume e largura de uma praia estão normalmente associadas a elevações anormais do nível da água, acima da maré astronômica prevista *(*NOAA, 2013; MASSELINK *et al.*, 2007). Tais situações normalmente têm origem meteorológica e podem ser provocadas por ventos fortes e seus efeitos - tal como o empilhamento junto à costa - ondas, baixas pressões atmosféricas próximo à costa, furacões, tempestades e outros fatores, ou ainda por uma combinação entre dois ou mais destes.

De acordo com Leatherman (1988), as tempestades são os principais agentes causadores das mudanças drásticas na paisagem costeira, promovendo especialmente a erosão de praias e dunas (uma vez que alteram o perfil de equilíbrio para o perfil de tempestade), processos de sobrelavagem (*overwash*) e abertura de *inlets* ou ilhas-barreira. Em uma praia arenosa, a combinação entre uma maré alta e ventos fortes pode aumentar momentaneamente o nível do mar, expondo a praia e as dunas ao ataque das ondas e resultando em erosão (EUROPEAN COMMISSION, 2004). Desta forma, as tempestades e as marés meteorológicas podem promover algumas das mais rápidas e dramáticas mudanças nas zonas costeiras, representando um dos maiores e menos previsíveis perigos para a população que ali reside (KUSKY, 2005). Numa escala de tempo curta (horas a dias), tempestades severas são responsáveis pela destruição de propriedades costeiras e de estruturas de engenharia (ALMEIDA *et al.,* 2012). Adicionalmente, perda de vidas e danos a ecossistemas podem ser atribuídos a estes eventos (LIN *et al.*, 2013).

Marés meteorológicas podem ser definidas como a diferença entre o nível do mar observado e a maré astronômica prevista (PUGH, 1987) e podem ser medidas na zona costeira por meio de uma estação maregráfica (BRAKENRIDGE *et al*., 2013). O poder de destruição de uma maré meteorológica depende da sua magnitude e duração, das ondas associadas e da coincidência com as marés astronômicas (DEAN; DALRYMPLE, 2004). Calliari *et al.* (1998) mencionam que a coincidência entre uma maré meteorológica e uma maré astronômica de sizígia pode ser desastrosa. Por sua vez, Rocha *et al.* (2003) acrescentam que os efeitos são ainda mais severos em áreas costeiras que apresentam baixa topografia e densa ocupação, resultando em impactos sociais e econômicos.

Na costa nordeste do Brasil, embora não haja histórico de furacões ou tempestades, eventos de alta energia associados a processos meteorológicos e/ou astronômicos são comuns e conhecidos pelo seu poder de erosão. Dutra *et al.* (2014), no intuito de identificar os eventos de erosão severa relacionados è ocorrência de marés meteorológicas na orla de Salvador, verificou que no período de 1965 a 2006 a maior parte dos eventos de erosão severa parece ter sido associada à ocorrência de marés meteorológicas com grande potencial destrutivo, combinadas às marés de sizígia. No referido estudo foram analisados 31 episódios e, segundo os resultados, tais marés meteorológicas estariam associadas à chegada de frentes frias e/ou ao acoplamento de uma alta pressão a um cavado, bem como ao empilhamento de Ekman ocasionado pela predominância dos ventos de sul (S) e sudeste (SE).

Particularmente, no que se refere à Região Metropolitana do Recife, localizada no litoral central do estado de Pernambuco, durante eventos de alta energia, acredita-se que agentes de natureza meteorológica e astronômica se combinem, promovendo alterações morfológicas severas de curto-termo nas praias arenosas. Alguns autores apontam para a ocorrência de ventos de sudeste e/ou marés de sizígia, como fatores determinantes de tais eventos observados na área (COSTA, 2008; MANSO *et al*., 2006; PEREIRA, 1998). Contudo, até o momento, nenhum estudo de séries envolvendo parâmetros meteorológicos e oceanográficos havia realizado no sentido de elucidar de maneira mais aprofundada a origem destes eventos.

Sob a perspectiva do gerenciamento costeiro, é de grande interesse a compreensão dos eventos que resultam na erosão de curto-termo, bem como o conhecimento acerca da frequência e intensidade dos mesmos. Tais informações são essenciais até mesmo para o planejamento costeiro de longo-termo e para a mitigação de perigos costeiros, subsidiando, por exemplo, o estabelecimento de distâncias de *setback lines* ou linhas de recuo, bem como a escolha de estruturas de proteção adequadas (RUGGIERO *et al.,* 1997). Assim, este estudo foi conduzido no intuito de compreender os agentes envolvidos nos eventos de alta energia que acometem as praias da RMR. Tal conhecimento é essencial para entender os processos costeiros que conduzem à erosão costeira episódica e pode subsidiar o planejamento e uso das praias arenosas da região.

4.2 METODOLOGIA

No intuito de identificar as datas em que ocorreram eventos de alta energia com consequências para o ambiente praial ou para os equipamentos urbanos nele instalados, uma busca foi conduzida nos três principais jornais do estado de Pernambuco (Diário de Pernambuco, Folha de Pernambuco e Jornal do Commercio). O período da busca compreendeu o intervalo entre o mais antigo registro disponível *online* de cada periódico (1998) e o ano de 2013. Tal método foi baseado naquele utilizado e descrito por Jimenez *et al.* (2012).

Com o objetivo de identificar as causas dos eventos de alta energia ocorridos na RMR, séries de variáveis (Tabela 6) foram obtidas e analisadas, em especial nas datas registradas pelos jornais locais por terem apresentado episódios de erosão. Utilizando os valores absolutos de cada variável durante episódios registrados (pressão, intensidade do vento, componentes zonal e meridional do vento, altura de onda e nível de maré), uma análise multivariada de componentes principais foi conduzida com o uso do *software* específico. Cabe observar que a análise de séries contemplou o período entre 1997 e 2009, período determinado em função da disponibilidade das mesmas.

No que se refere às fontes das séries, os dados de pressão (mb) e vento ($m.s^{-1}$) utilizados têm frequência diária e estão disponíveis nas bases de dados do *National Oceanic and Atmospheric Administration /Earth System Research Laboratory* (NOAA/ESRL) e *National Climatic Data Center* (NOAA/NCDC). Os dados de maré (m) são horários e foram estimados pela Marinha do Brasil e disponibilizados pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos da (BNDO), para a posição 8^{o}S 34^{o}52W, mediante solicitação via procedimento padrão. Os dados de ondas (m), calculados por meio de modelagem e calibrados com dados obtidos por satélite, têm frequência de 3 em 3 horas, na posição de 8^{o}S 34^{o}45W, e provêm do banco de dados do BMT/ARGOSS (*Waveclimate*). Finalmente, as informações referentes à ocorrência de fenômenos interanuais e à intensidade dos mesmos foram obtidas a partir de consulta ao sítio eletrônico do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

Tabela 6 – Séries de dados utilizadas para as análises.

Variável	**Frequência**	**Unidade de medida**	**Fonte da informação**
Pressão atmosférica	diário	milibar (mb)	NOAA/ESRL
Vento (intensidade e direção)	diário	metros por segundo ($m.s^{-1}$)	NOAA/NCDC
Ondas (altura)	médias de 3h	Metros	BMT/ARGOSS (Waveclimate)
Maré (altura)	horária	Metros	BNDO

Para a análise da variabilidade interanual foram calculadas as anomalias dos dados de pressão, vento, onda e maré, removendo-se a média histórica diária. As anomalias permitem evidenciar valores que estão acima ou abaixo da média climatológica correspondente ao período de 1997 a 2009. Desta forma, para os dados de onda, removeu-se a média de 3h e para os dados de maré, a média horária.

4.3 RESULTADOS

Eventos de alta energia registrados e suas consequências no litoral da RMR

Para o período analisado em relação aos registros históricos (1998-2013), vinte e nove eventos ou danos foram reportados nos três maiores jornais do Estado. Os resultados da busca são apresentados a seguir (Tabela 7) e se referem a eventos distintos ou a um mesmo evento, com consequências diversas nas diferentes praias/cidades.

O município que responde pela maior parte dos registros de impactos é Paulista (44%), frequentemente afetado pela ação de ondas, marés e ventos acima da média e/ou combinados. Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes representam cerca de 10%, 34% e 31% dos registros, respectivamente. Estruturas frequentemente afetadas incluem casas, muros, calçadas, postes, quiosques e, eventualmente, equipamentos de pesca, além da queda de coqueiros e da perda de área da pós-praia. As imagens que seguem (Figuras 8 – A, B, C e D) ilustram o comportamento de praias do litoral central de Pernambuco diante da ocorrência de eventos de alta energia e evidenciam os diversos problemas relacionados à perda da função de proteção do sistema praial, os quais variam em virtude das características da praia, da sua forma de ocupação e da intensidade e duração dos eventos supracitados.

Tabela 7 - Eventos e danos noticiados pelos jornais no período de 1998 a 2013.

Data	Praia	Município	Evento/Dano
31/03/1998	Janga	Paulista	Maré de 2,6 m derrubou muros e destruiu três cômodos de uma casa de veraneio.
05/02/2003	Janga	Paulista	Bares instalados na beira-mar amanheceram parcialmente destruídos pela maré alta.
06/05/2004	Janga	Paulista	Trabalhador foi soterrado por um trecho do calçadão recém-construído que cedeu devido à maré alta.
27/05/2005	Janga	Paulista	Maré alta destruiu parte do calçadão e causou inundação nas proximidades.
24/10/2007	Janga	Paulista	Prefeitura decretou estado de emergência após uma parte do calçadão ter sido destruída pela maré, que ameaça atingir edifícios na orla.
09/08/2010	Pau Amarelo	Paulista	Maré alcançou 2,5 m, atingindo bares na orla.
30/06/2010	Não especificado	Paulista	A água subiu 2 m e a Defesa Civil permaneceu de plantão na orla.
10/08/2010	Janga e Boa Viagem	Paulista	A Defesa Civil trabalhou em regime de alerta para a maré alta prevista, de 2,1 m.
02/03/2010	Não especificado	Paulista	Paulista registrou a maior maré do ano.
30/08/2011	Pau Amarelo	Paulista	Casas ficaram destruídas, estabelecimentos à beira-mar foram danificados, barcos de pesca foram arrastados e a água atravessou o muro de contenção, atingindo o calçadão.
31/08/2004	Não especificado	Olinda	Maré alta provocou estragos na beira-mar de Olinda, com rachaduras em trechos da mureta de proteção.
08/09/2006	Milagres	Olinda	Maré de ~2,5 m atingiu casas localizadas na beira-mar e destruiu parte de um hotel, além de materiais de pesca.
08/09/1998	Brasília Teimosa	Recife	Maré de 2,5 m invadiu casas, assustando quatrocentas famílias moradoras de palafitas.
12/08/2002	Pina	Recife	A Defesa Civil deslocou dez famílias das suas casas devido à maré de ~2,3 m.
03/08/2004	Boa Viagem	Recife	Maré alta derrubou um poste de iluminação e parte do calçadão, ameaçando um quiosque.

Tabela 7 (Continuação) - Eventos e danos noticiados pelos jornais no período de 1998 a 2013.

Data	Praia	Município	Evento/Dano
04/05/2004	Brasília Teimosa	Recife	Maré de 2,3 m atingiu 30 casas e destruiu eletrodomésticos.
20/08/2007	Brasília Teimosa	Recife	Ondas associadas a fortes ventos atingiram 2,6 m.
17/09/2008	Boa Viagem	Recife	O calçadão de Boa Viagem foi parcialmente destruído.
09/08/2010	Boa Viagem	Recife	Parte do muro de proteção localizado na Praça de Boa Viagem foi derrubado pela maré alta.
19/08/2010	Boa Viagem	Recife	Dois pontos de erosão já existentes aumentaram, danificando parte do calçadão.
13/08/2001	Candeias	Jaboatão dos Guararapes	Ondas chegaram a 1,7 m de altura, derrubando uma estátua. O afundamento da pavimentação da beira-mar deixou uma vítima em estado grave - com traumatismo craniano. Os proprietários dos bares temem a diminuição do movimento.
14/03/2005	Piedade	Jaboatão dos Guararapes	As marés dos últimos dias provocaram inúmeros danos ao longo da orla.
30/08/2007	Piedade	Jaboatão dos Guararapes	Maré alcançou 2,4 m, destruindo uma barreira de sacos de areia e arrancando um coqueiro; o muro de um edifício desabou e duas piscinas foram danificadas.
31/08/2008	Candeias	Jaboatão dos Guararapes	Parte de um muro de contenção desabou por causa da maré alta.
31/08/2011	Piedade e Candeias	Jaboatão dos Guararapes	Foi decretada situação de emergência. A maré alta provocou alagamentos em prédios e casas, além de danificar muro de contenção.
08/08/2004	Boa Viagem, Candeias, Janga e Pau Amarelo	Recife, Jaboatão dos Guararapes e Paulista	Marés atingiram 2,2 m, causando estragos na orla.
23/08/2005	Diversas praias de Olinda e Candeias	Olinda e Jaboatão dos Guararapes	Maré alta destruiu bancos, obras de revitalização e calçadas na beira-mar de Olinda. Em Candeias, árvores e muros foram derrubados.

Tabela 7 - Eventos e danos noticiados pelos jornais no período de 1998 a 2013.

Data	Praia	Município	Evento/Dano
15/08/2007	Não especificado	Jaboatão dos Guararapes e Paulista	Em Jaboatão dos Guararapes um prédio perdeu sua entrada principal. Em Paulista, diques e postes caíram e uma parte do calçadão cedeu.
31/08/2011	Não especificado	Jaboatão dos Guararapes, Recife e Paulista	Maré de 2,7 m atingiu casas e estabelecimentos comerciais na orla dos três municípios, causando danos materiais.

Figuras 20 – Exemplos de situações registradas durante a ocorrência de eventos de alta energia no litoral central de Pernambuco: (A) Ausência de pós-praia na Praia de Candeias, Jaboatão dos Guararapes (maio/2008); (B) Danos às estruturas de contenção do processo erosivo (enrocamento) na Praia dos Milagres, Olinda (maio/2008); (C) Ausência de pós-praia no Pontal de Maria Farinha, Paulista (março/2012); e (D) Ondas atingindo estabelecimentos comerciais localizados na Praia de Maria Farinha, Paulista (abril/2012).

Análise das séries de dados

Anomalias das séries anuais foram plotadas para o período de 1997 a 2009, a exemplo da figura apresentada a seguir (Figura 9 – referente ao ano de 2004). As setas verticais indicam datas de ocorrência de eventos de alta energia, conforme reportado nos jornais. No total, entre as 29 ocorrências registradas pelos jornais, apenas 20 foram analisadas com base nas variáveis: pressão atmosférica (mb), vento (módulo e componentes meridional e zonal em m s^{-1}), altura de onda (m) e pico da maré (m). Para o período restante (entre 2009 e 2013), não foram obtidas séries de dados suficientes para realizar a análise.

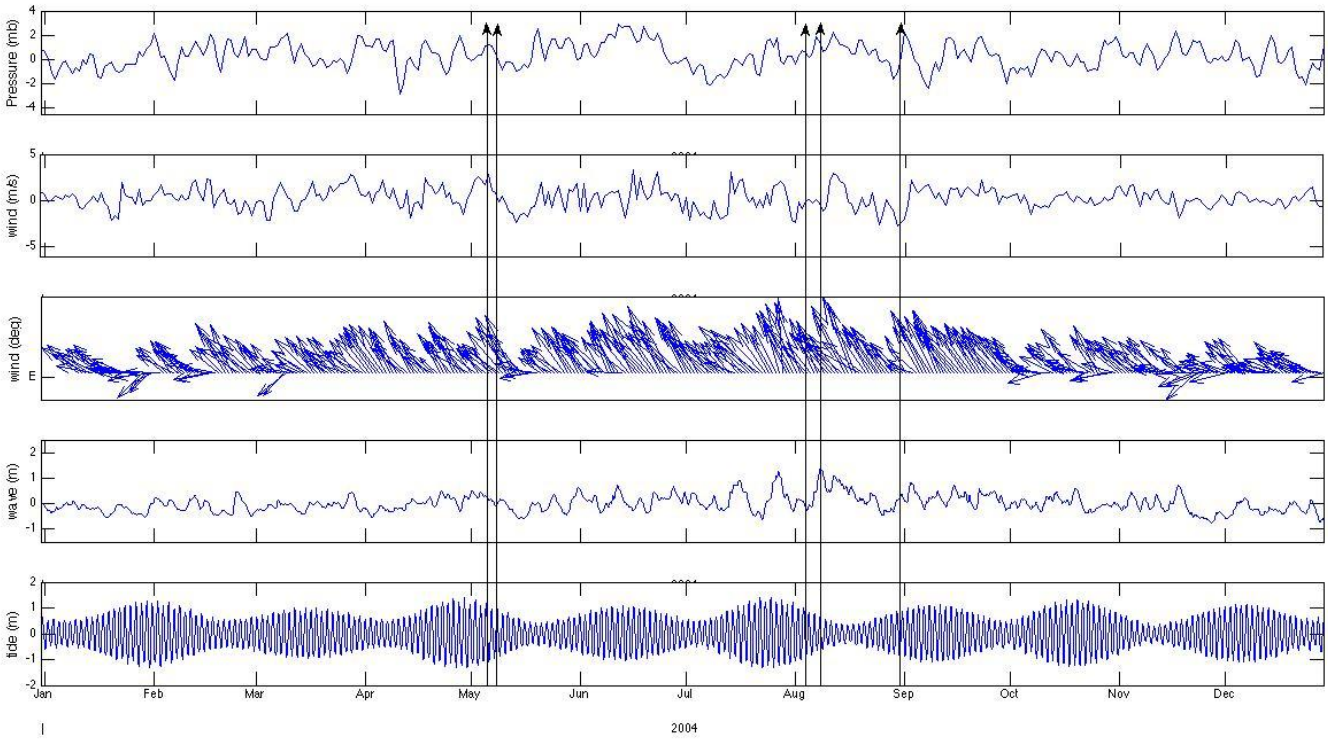


Figura 9 – Anomalias das variáveis analisadas para o ano de 2004.

Os valores absolutos das variáveis analisadas nas datas dos eventos de alta energia são apresentados a seguir (Tabela 8), seguidos da estatística descritiva feita com base nestes valores (Tabela 9).

Tabela 8 – Valores de cada variável durante cada evento de alta energia (n=20).

Evento	Data	Pressão (mb)	Intensidade do vento (m/s)	Componente Zonal do Vento (m/s)	Componente Meridional do Vento (m/s)	Altura de onda (m)	Pico da maré (m)	Maré	Fenômeno Interanual	Intensidade do Fenômeno
E1	31/03/1998	1010,15	4,68	-4,31	1,83	1,42	2,40	Sizígia	El niño	Forte
E2	08/09/1998	1013,27	5,92	-5,22	2,79	1,66	2,65	Sizígia	El niño	Forte
E3	13/08/2001	1017,22	9,25	-4,78	7,92	1,65	1,80	Quadratura	La niña	Moderado
E4	12/08/2002	1016,60	7,24	-5,53	4,66	1,56	2,50	Sizígia	El niño	Moderado
E5	05/02/2003	1011,75	9,82	-8,22	5,36	2,01	2,20	Sizígia	El niño	Moderado
E6	04/05/2004	1013,45	8,98	-5,19	7,33	1,47	2,60	Sizígia	El niño	Fraco
E7	06/05/2004	1014,90	5,18	-5,10	0,86	1,60	2,50	Sizígia	El niño	Fraco
E8	03/08/2004	1012,35	8,99	-5,63	7,01	1,38	2,50	Sizígia	El niño	Fraco
E9	08/08/2004	1016,38	7,12	-3,71	6,08	1,05	1,70	Quadratura	El niño	Fraco
E10	31/08/2004	1017,10	8,07	-6,37	4,96	1,06	2,60	Sizígia	El niño	Fraco
E11	14/03/2005	1014,13	5,84	-5,19	2,67	1,07	2,20	Sizígia	El niño	Fraco
E12	27/05/2005	1010,70	6,12	-6,11	0,34	1,12	1,80	Sizígia	El niño	Fraco
E13	23/08/2005	1015,63	8,16	-5,28	6,22	1,38	2,50	Sizígia	El niño	Fraco
E14	08/09/2006	1014,88	8,50	-4,72	7,08	1,56	2,70	Sizígia	El niño	Fraco
E15	15/08/2007	1015,53	7,45	-4,88	5,63	1,48	2,40	Sizígia	La niña	Forte
E16	20/08/2007	1013,65	7,64	-6,37	4,22	1,79	1,70	Quadratura	La niña	Forte
E17	30/08/2007	1015,20	11,25	-6,49	9,18	2,03	2,60	Sizígia	La niña	Forte
E18	24/10/2007	1015,45	8,01	-4,57	6,57	1,82	2,40	Quadratura	La niña	Forte
E19	31/08/2008	1013,10	7,37	-7,22	1,45	1,91	2,60	Sizígia	La niña	Forte
E20	17/09/2008	1014,00	7,88	-5,77	5,37	2,38	1,90	Sizígia	La niña	Forte

Tabela 9 – Estatística descritiva feita a partir dos dados absolutos relacionados aos eventos de alta energia (n=20).

Parâmetro	Pressão (mb)	Módulo do vento (m/s)	Componente zonal do vento (m/s)	Componente meridional do vento (m/s)	Altura de onda (m)	Pico da maré (m)
Mínimo	1010,15	4,68	-8,22	0,34	1,05	1,70
Máximo	1017,22	11,25	-3,71	9,18	2,38	2,70
1º Quartil	1013,23	6,87	-6,18	2,76	1,38	2,13
Mediana	1014,51	7,76	-5,25	5,37	1,56	2,45
3º Quartil	1015,56	8,62	-4,86	6,68	1,79	2,60
Média	1014,27	7,67	-5,53	4,88	1,57	2,31
Variância (n-1)	4,02	2,59	1,09	6,19	0,13	0,12
Desvio Padrão (n-1)	2,00	1,61	1,05	2,49	0,36	0,34

Considerando todo o conjunto de dados analisado (série inteira, não somente os valores dos eventos energéticos), os valores médios das variáveis são apresentados na Tabela 10. Tais informações foram utilizadas para analisar as anomalias durante os eventos de alta energia.

Tabela 10 – Valores médios extraídos da série de dados completa.

Pressão (mb)	Intensidade do vento (m/s)	Componente Zonal do Vento (m/s)	Componente Meridional do Vento (m/s)	Altura de onda (m)
1012,88	6,94	-5,68	3,22	1,28

Com base nos valores médios, é possível concluir que durante a maior parte do tempo, a altura significativa de onda é inferior a 1,5 m e que os ventos têm intensidade inferior a 7 m/s. Ademais, há uma contribuição maior da componente zonal (leste-oeste), cuja média tende a ser negativa, indicando ventos de leste. Por sua vez, com base no valor médio, a componente meridional do vento (norte-sul) demonstrou ser positiva na maior parte do tempo (ventos de sul), porém com uma contribuição menos significativa no módulo do vento. A média da componente zonal negativa, combinada

com uma componente meridional positiva, indica a predominância de ventos de sudeste.

No que tange às condições necessárias para a ocorrência dos eventos de alta energia analisados, a pressão atmosférica apresentou-se acima da média em 80% dos casos. A variável, além de estar associada ao nível do mar em função do peso da coluna de ar causando dilatação (baixa pressão atmosférica) ou compressão (alta pressão atmosférica) da superfície do mar, apresenta forte influência sobre outras variáveis, particularmente sobre o vento.

No que se refere à influência das marés, 80% (n=16) dos eventos analisados ocorreram durante marés de sizígia e 75% (n=15), em dias nos quais o pico da maré superou os 2 m. Destes, 27% (n=4) dos eventos parecem ter sido determinados exclusivamente pela maré, isto é, as demais variáveis analisadas apresentaram valores iguais ou inferiores à a média. Os demais (73%) (n=11) apresentaram contribuição de outra(s) variável(is), a saber: vento (53% ou n=8) ou ventos e ondas (20% ou n=3).

Quanto à influência do vento nos eventos de alta energia, em 80% (n=16) dos episódios, os valores do vento estiveram acima da média, sendo que o módulo esteve acima da média na maioria (75% ou n=15). Em dois destes eventos (~12%), somente a componente zonal esteve acima da média. Em cinco eventos (~31%), ambas as componentes, zonal e meridional, apresentaram valores acima da média. Na maioria dos casos (~57% ou n=9), a responsável pelo incremento na intensidade do vento parece ter sido a componente meridional. Entre os eventos que tiveram influência do vento, em quatro deles o vento parece ter sido o único responsável pela alta energia incidente na costa, sendo a única variável que apresentou valores acima da média. Nos demais eventos, houve combinação com ondas (um evento), maré (oito eventos) ou ambas (três eventos). Cabe observar que, em todos os eventos, a componente zonal esteve negativa (de leste) e a componente meridional positiva (de sul).

A altura de onda apresentou valores acima da média em 20% dos eventos analisados, sendo que em nenhum destes, tal variável determinou o evento de alta energia

sozinha, estando sempre combinada com as outras variáveis analisadas. Finalmente, no que se refere aos fenômenos interanuais aqui considerados (El Niño e La Niña), embora a maioria dos eventos registrados (65% ou n=13) tenha ocorrido em anos de El Niño, foi possível observar que em 92% destes (12 eventos), o vento não determinou isoladamente a ocorrência do episódio erosivo, estando associado a marés de sizígia. Por sua vez, nos anos de La Niña, em 57% dos casos (4 eventos), o vento parece ter sido a única variável atuante. A tabela a seguir (Tabela 11) mostra valores associados às médias das componentes zonal e meridional do vento, bem como do módulo, para os eventos ocorridos durante anos de El Niño e La Niña, evidenciando um aumento no módulo do vento associado especialmente à intensificação da componente meridional do vento nos eventos ocorridos em anos de La Niña.

Tabela 11 – Valores médios associados ao vento nos eventos ocorridos em anos de El Niño e La Niña (n=20).

Fenômeno Interanual	Número de eventos	Módulo do vento (média, em m/s)	Componente zonal do vento (média, em m/s)	Componente meridional do vento (média, em m/s)	Ocorrência combinada com marés de sizígia
El Niño	13 (65%)	7,28	-5,43	4,4	92%
La Niña	7 (35%)	8,41	-5,73	5,76	57%

Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (Figura 10) confirmou que no primeiro modo, a maior contribuição foi do módulo do vento e da componente meridional do vento (~40 e 35%, respectivamente). No segundo modo, destaca-se a importância da componente zonal do vento, que explica cerca de 42% da variabilidade dos dados, bem como da pressão atmosférica (~29%). Cabe destacar que a pressão atmosférica exerce grande influência sobre os ventos. No terceiro modo surge a maré, com cerca de 98% de contribuição. Finalmente, no quarto modo, a altura de onda explica cerca de 66% da variabilidade do conjunto de dados. Os dados são apresentados na Tabela 12.

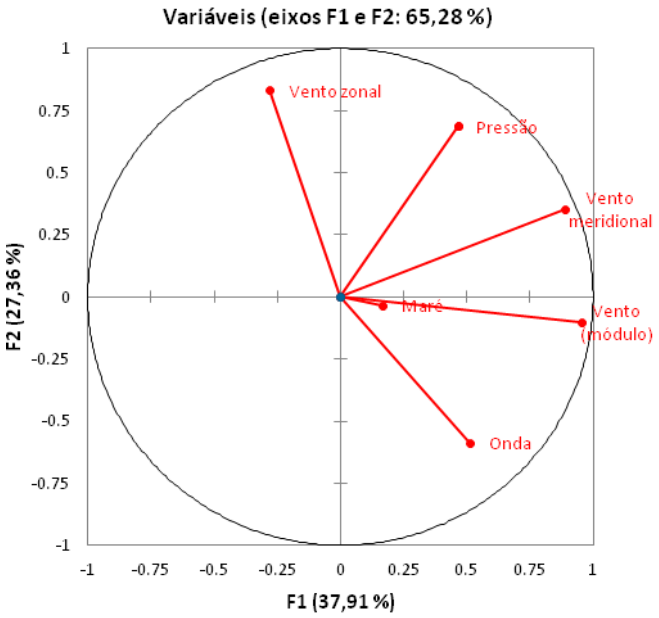


Figura 10 – Análise de componentes principais.

Tabela 12 - Contribuição das variáveis (%) segundo Análise de Componentes Principais.

Variável	F1	F2	F3	F4
Pressão	9,57	28,74	0,01	1,34
Vento (intensidade)	**39,89**	0,61	0,35	10,08
Vento (componente zonal)	3,46	**42,13**	0,05	21,64
Vento (componente meridional)	**34,49**	7,54	0,28	0,31
Onda	11,41	20,91	1,47	**65,84**
Maré	1,18	0,07	**97,84**	0,79

4.4 DISCUSSÃO

Segundo FINEP/UFPE (2009), durante os eventos de alta energia, grandes quantidades de areia podem ser erodidas da praia, e os volumes de sedimentos transferidos para os locais mais profundos da plataforma interna dificilmente retornam sob condições normais de ondas. Nestas circunstâncias, a plataforma pode se tornar um importante reservatório permanente de areia. A sazonalidade de chuvas e ventos tem reflexos diretos no volume de sedimentos que chega até a costa, bem como na exposição da costa a ondulações mais ou menos severas.

Dos 20 eventos analisados, dez ocorreram durante o mês de Agosto (50%). De acordo com Pereira (1998), durante os meses de Agosto e Setembro, os ventos incidentes na costa do nordeste brasileiro costumam ser mais fortes. Tais observações estão ainda de acordo com estudo de Dutra *et al.* (2014) para outra área costeira do nordeste (Salvador-Bahia), segundo o qual os meses de maior incidência de eventos erosivos são março e agosto, sugerindo um padrão sazonal.

Ainda no que se refere à sazonalidade dos eventos analisados, foi possível observar que os mesmos são causados por fatores distintos, ora combinados, ora atuando de forma isolada. Entretanto, ficou clara a influência dos ventos e das marés, corroborando as afirmações de outros autores, que associam eventos de alta energia com marés de sizígia e ventos de sudeste. Pereira (1998) mencionou que, quando as marés equinociais coincidem com as marés de sizígia, a altura pode chegar a 2,8 m, e que tal fenômeno é ainda mais severo quando ocorre no segundo semestre (agosto/setembro), momento em que os ventos estão mais fortes. Treze dos vinte eventos analisados neste estudo (65%) ocorreram durante este período.

Estudos de Costa (2008) apontaram para uma relação entre os ventos e episódios pontuais de erosão (variação do perfil). A autora menciona que o clima de ventos demonstra um padrão sazonal com ventos mais fortes de sudeste (SE) durante a estação úmida, principalmente entre os meses de julho e setembro, e mais moderados, de nordeste (NE), durante a estação seca, principalmente entre os meses de novembro e janeiro. A coincidência entre esses ventos mais intensos e as marés de sizígia, fenômeno localmente conhecido como ressaca, impõe maior energia à costa, provocando maiores modificações na morfologia praial, além de danos a construções. Por esta razão, tais episódios estão associados a transtornos às autoridades e aos proprietários de imóveis localizados à beira-mar.

A análise da direção do vento, conforme indicado pelos vetores na Figura 9, mostrou que de setembro a janeiro, os ventos oscilam de nordeste (NE) para sudeste (SE), enquanto que no restante do ano, predominam ventos de sudeste (SE). Os ventos mais intensos são predominantemente deste quadrante e incidem no período de Março a

Agosto, o que favorece maior energia de ondas, corroborando os resultados de Costa (2008). Adicionalmente, as oscilações do vento provenientes de nordeste (NE) favorecem o transporte de Ekman para o oceano aberto. A inversão da direção do vento para sudeste (SE) favorece o um transporte de Ekman para a costa, contribuindo para um empilhamento de água contra a mesma (SIMPSON; SHARPLES, 2012) e intensificando a ação das ressacas. Este padrão também foi registrado por Dutra *et al*. (2014) para o litoral baiano, os quais observaram ainda que a oscilação do nível da água nestas situações é proporcional à intensidade dos ventos.

No que tange às condições de maré, a maior parte dos eventos ocorreu durante marés de sizígia, o que confirma a contribuição desta variável para a ocorrência de elevados níveis de energia incidentes no litoral da RMR, em especial quando combinada à ação dos ventos. Novamente tais observações estão em consonância com o descrito por Dutra *et al.* (2014) para o litoral de Salvador, onde foi observado que boa parte dos episódios de erosão severa analisados coincidiram com marés de sizígia.

Segundo Tessler e Goya (2005), no setor litorâneo que compreende o estado de Pernambuco, as ondas mais efetivas no transporte sedimentar são predominantemente geradas pelos ventos alísios, dos quadrantes nordeste e leste. Tais ondas estão associadas a períodos médios de 5 a 10 s e alturas entre 1 e 2 m. Embora para a série estudada as ondas tenham demonstrado pequena contribuição nos eventos de alta energia, de acordo com Innocentini *et al*. (2005), as maiores ondulações para a área ocorrem durante os meses de julho, agosto e setembro, são provenientes da direção sul, e estão associadas com perturbações derivadas de ciclones extratropicais no Atlântico Sul. Tal informação reforça a maior probabilidade de ocorrência de eventos de alta energia durante os meses supracitados. Adicionalmente, o efeito de empilhamento provocado pelos ventos mais intensos que ocorrem nesta época favorece a sobreelevação da altura e o maior alcance das ondas (DUTRA *et al.,* 2014).

As observações feitas acerca da relação entre as variáveis envolvidas na ocorrência de eventos de alta energia durante anos de El Niño e La Niña corroboram os achados de Dutra *et al.* (2014), demonstrando que tais fenômenos influenciam na ocorrência de

episódios erosivos no Nordeste do Brasil. A intensificação da componente meridional do vento em anos de La Niña está de acordo com o estudo supracitado e ainda com as observações de Piola (2000).

Finalmente, o registro de danos mesmo em condições ordinárias de ventos e ondas – no caso dos episódios determinados exclusivamente pela maré - aponta para uma preocupação adicional no que se refere à resiliência do litoral estudado, o qual vem se mostrando incapaz de absorver a energia imposta por forçantes de alta previsibilidade e frequência, como é o caso dos picos das marés astronômicas. De acordo com Costa (2008), o litoral da Região Metropolitana do Recife se apresenta intensamente urbanizado e a forma como foi ocupado o torna bastante vulnerável a qualquer tipo de evento extremo. Reforçando esta afirmação, FINEP/UFPE (2009) em seus estudos chegaram à conclusão de que os problemas de erosão têm uma relação direta com o aumento da ocupação do solo próximo ao litoral. A redução da largura da pós-praia, uma tendência observada ao longo do litoral da Região Metropolitana do Recife (FINEP/UFPE, 2009), pode revelar a ocorrência de um processo erosivo de médio-termo, contribuindo para a perda da resiliência costeira durante eventos de curto-termo, e sugerindo uma interação sinérgica entre forçantes que atuam em distintas escalas temporais.

4.5 CONCLUSÃO

As praias arenosas da área de estudo, além de possuírem caráter recreativo, desempenham uma importante função ambiental, a de proteção costeira diante da energia imposta pelos oceanos. Contudo, ao longo dos últimos anos, as praias localizadas no litoral central de Pernambuco vêm demonstrando a perda desta competência, diante dos inúmeros episódios em que eventos de alta energia causaram redução drástica na área e volume de praia, além de danos aos equipamentos urbanos ali instalados e transtornos aos residentes e usuários da área. Por esta razão, constitui ao mesmo tempo uma demanda e um desafio a compatibilização do uso e ocupação do litoral com os processos morfodinâmicos ali atuantes, em especial diante de

cenários de mudanças climáticas e variações do nível do mar, nos quais a ação de forçantes de longo, médio e curto-termos pode se dar de forma sinérgica.

O uso de registros históricos de periódicos locais mostrou-se útil na identificação de eventos de alta energia, muito embora se deva considerar que a metodologia pode ter contribuído para uma subestimativa dos eventos que efetivamente ocorreram. A análise dos dados permitiu confirmar a relação já mencionada em estudos pretéritos, de que os eventos de alta energia no litoral central de Pernambuco têm estreita relação com a intensidade e a direção dos ventos, estando especialmente associados à contribuição da componente meridional do vento e, mais especificamente, a valores positivos da mesma (do quadrante sul). Ficou evidente a associação entre fenômenos interanuais, particularmente o La Niña, com a intensificação desta componente do vento. Foi possível ainda verificar que, a exemplo do que ocorre em outras localidades, o empilhamento de Ekman demonstra ter uma importante ação na ocorrência de marés meteorológicas na região.

No que diz respeito às demais variáveis analisadas, observou-se que as ondas de forma isolada pouco contribuem para a ocorrência de episódios erosivos junto à área de estudo. Por outro lado, confirmou-se a importância da maré astronômica, particularmente durante períodos de sizígia, na ocorrência destes eventos.

Uma caracterização mais conclusiva, que conduza a uma melhor compreensão dos eventos que resultam em erosão de curto-termo requer a análise de séries temporais mais longas (a partir de 30 anos), as quais nem sempre são de fácil obtenção. Tal análise deveria contemplar minimamente ventos, ondas e níveis de água (maré astronômica e meteorológica), além da análise de cartas sinóticas, no intuito de identificar além das condições extremas, suas origens e seus respectivos períodos de retorno. Outras demandas neste sentido incluem a criação de bases de dados que contenham, no mínimo: registros históricos dos eventos de alta energia; dados sobre as condições meteoceanográficas que determinaram sua ocorrência; resposta morfológica dos sistemas costeiros a tais eventos; avaliação dos impactos ecológicos – no que se refere à função da praia enquanto ecossistema, físicos e socioeconômicos; e

resposta da sociedade e das autoridades (em termos de intervenções/adaptações/ proteção civil) após tais episódios. Tais informações permitiriam estabelecer valores/níveis e sistemas de alerta para variáveis/eventos, a partir dos quais a população e o poder público poderiam tomar medidas no intuito de reduzir os danos decorrentes de tais eventos sobre a costa.

CAPÍTULO 5 | ANÁLISE DE RISCO À EROSÃO DE PRAIAS ARENOSAS E MEDIDAS PARA SUA GESTÃO: PROPOSTA METODOLÓGICA E ESTUDO DE CASO (PAULISTA, PE)

5.1 INTRODUÇÃO

Uma das características mais marcantes observadas nas praias arenosas é a modificação da sua configuração em perfil e planta ao longo do tempo. A morfologia de uma praia pode ser alterada consideravelmente por efeitos erosivos ou construtivos em curto, médio ou longo-termo. A esta constante mobilidade, dá-se o nome de variabilidade praial, a qual está associada a inúmeros fatores, entre os quais se destacam: sua configuração; seus contornos (morfologia da costa e batimetria da plataforma continental adjacente); a dinâmica atuante (ventos, ondas, marés e correntes); e a disponibilidade/características do estoque sedimentar (FINEP/UFPE, 2009).

De acordo com Guedes (2010), processos relacionados à hidrodinâmica, à geomorfologia e à movimentação de sedimentos representam perigos costeiros que se traduzem em riscos quando da sua ocorrência em áreas urbanizadas. A erosão costeira, embora possa ser um processo natural, torna-se um problema diante da falta de espaço para acomodar uma nova configuração da costa, tal como ocorre frequentemente em orlas altamente urbanizadas. Nestes locais, os episódios relacionados aos processos acima descritos podem ter grandes impactos, não só sobre os ambientes costeiros, mas também sobre as comunidades ali instaladas.

O conhecimento sobre a forma como um sistema praial se comporta diante da energia a ele imposta pela hidrodinâmica costeira é de fundamental importância para a gestão da costa (PILKEY; COOPER, 2004; RAMSTORF, 2007; COSTA *et al.,* 2008). Desta forma, no intuito de predizer este comportamento, inúmeras metodologias têm sido criadas e aplicadas, incluindo modelos numéricos capazes de estimar a erosão do perfil, tais como o SBEACH (LARSON *et al*., 1990 *apud* CORBELLA; STRETCH, 2012), o *Time Convolution Model* (KRIEBEL; DEAN, 1993 *apud* CORBELLA; STRETCH, *op. cit.*), o

XBEACH (ROELVINK *et al.*, 2009 *apud* CORBELLA; STRETCH, *op. cit.*) e o PETRA (IH-CANTABRIA, 2013). Em comum, tais metodologias têm o potencial de estimar os impactos ou consequências associados à ocorrência de um determinado evento ou cenário na costa, informação esta que corresponde a uma das dimensões do cálculo do risco (ver Capítulo 2).

O risco, de acordo com Navarro (2015), tem origem na ocorrência de um evento futuro, possível, incerto, independente da vontade das partes, e capaz de causar perdas ou danos, os quais podem ser mensurados. Desta forma, quando capazes de estimar as consequências ou impactos dos eventos de alta energia sobre o ambiente praial e associados aos seus períodos de retorno - ou probabilidades de ocorrência, normalmente em base anual - as metodologias supracitadas podem ser aplicadas para estimar o risco. Este, por sua vez, constitui um conceito de grande importância e com vasto potencial de uso como ferramenta por governos e instituições nas ações de planejamento de uso da costa e de resposta a eventos indesejados.

De acordo com o Projeto MAI (FINEP/UFPE, 2009), dos aproximadamente 15 km de litoral do município de Paulista, cerca de 8 km (~65%) não apresentam mais o compartimento pós-praia, tendo sido este substituído por obras de engenharia costeira. Embora as taxas de deslocamento de linha de costa no município apontem para a estabilidade das praias, alguns segmentos apresentam pós-praias estreitas e ocupadas, sendo, portanto, pouco competentes na função de absorver a energia imposta pelas forçantes que ali atuam e, assim, de proteger a retrocosta durante eventos de maior energia.

Neste contexto, o conhecimento do risco associado à erosão costeira pode se mostrar uma ferramenta robusta, de importante aplicação para o planejamento e gerenciamento da zona costeira, cuja avaliação motivou a elaboração deste estudo de caso. Pretende-se, com o seu desenvolvimento, operacionalizar o conceito de risco para a erosão costeira episódica (de curto-termo) em segmentos costeiros do município de Paulista, identificando, quantificando e descrevendo o risco associado a

este processo com uso de dados coletados em campo e de ferramentas computacionais.

5.2 METODOLOGIA

A proposta metodológica aqui apresentada e aplicada segue a estrutura mostrada no Capítulo 2 (ver Figura 7) . Observa-se que no contexto do Gerenciamento Costeiro, o processo não deve ter início, meio e fim, e sim ser compreendido como um ciclo contínuo e adaptativo. Adicionalmente, cabe observar que a aplicação ora realizada contempla parte do processo, até a etapa de "Quantificação e análise de risco".

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, o risco pode ser expresso em termos de combinação entre a probabilidade de ocorrência de um evento e as consequências associadas, podendo ainda ser apresentado sob a forma da Equação II, apresentada no Capítulo 2 e aqui transcrita, a qual foi adotada como base para a proposta metodológica desenvolvida e aplicada:

$$(Equação\ II)\ R = P(E) \times C(E)$$

na qual o Risco (R) é expresso como o produto da frequência ou probabilidade de ocorrência de um evento – P(E), pela consequência ou impacto do mesmo – C(E).

Os estágios da metodologia adotada são a seguir descritos e se basearam em Jelínek e Krausmann (2009), Duarte e Droguett (2012), Duarte *et al*. (2013) e Modarres (2006), sofrendo adaptação para o problema em questão – a erosão costeira de curto-termo associada a eventos de alta energia:

Caracterização do problema (Estágio I)

No que se refere ao sistema em análise, foram contempladas as praias arenosas. Por sua vez, o problema em questão consistiu na erosão associada à ocorrência de eventos

de alta energia, isto é, a erosão de curto-termo ou episódica (associada a uma escala de tempo de horas a dias), conforme discutido nos Capítulos 3 e 4.

O sistema praial foi analisado a partir do conhecimento do seu perfil e, para tanto, foram utilizados dois perfis praiais localizados no município de Paulista, localizados nas praias de Nossa Senhora do Ó (PA6) e Conceição (PA7), os quais foram levantados no contexto do Projeto MAI – Monitoramento Ambiental Integrado (FINEP/UFPE, 2009), no período compreendido entre junho/2006 e novembro/2007. Na ocasião, foram realizados perfis praiais mensais com o objetivo de acompanhar as variações volumétricas e morfológicas por meio de nivelamento topográfico. Tais levantamentos foram feitos sempre na condição de maré baixa. Os perfis topográficos foram implementados a partir de estações fixas (RN) e foram feitos perpendicularmente à linha de costa em direção ao mar, até a profundidade aproximada de 20 cm. Para contemplar a porção submersa dos perfis, foram utilizados dados batimétricos disponíveis no banco de dados do mesmo Projeto, e para a amarração entre as porções subaérea e subaquosa dos perfis, foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas ArcGIS 9.2 (ESRI, 2009).

Os perfis PA6 e PA7 foram escolhidos em função do seu distinto comportamento, apesar da proximidade geográfica (Figura 11) e estão descritos na tabela a seguir (Tabela 13). Para cada praia foram extraídos perfis representativos e utilizado o cenário de precaução, ou seja, o mês de menor volume (Figuras 12 e 13).

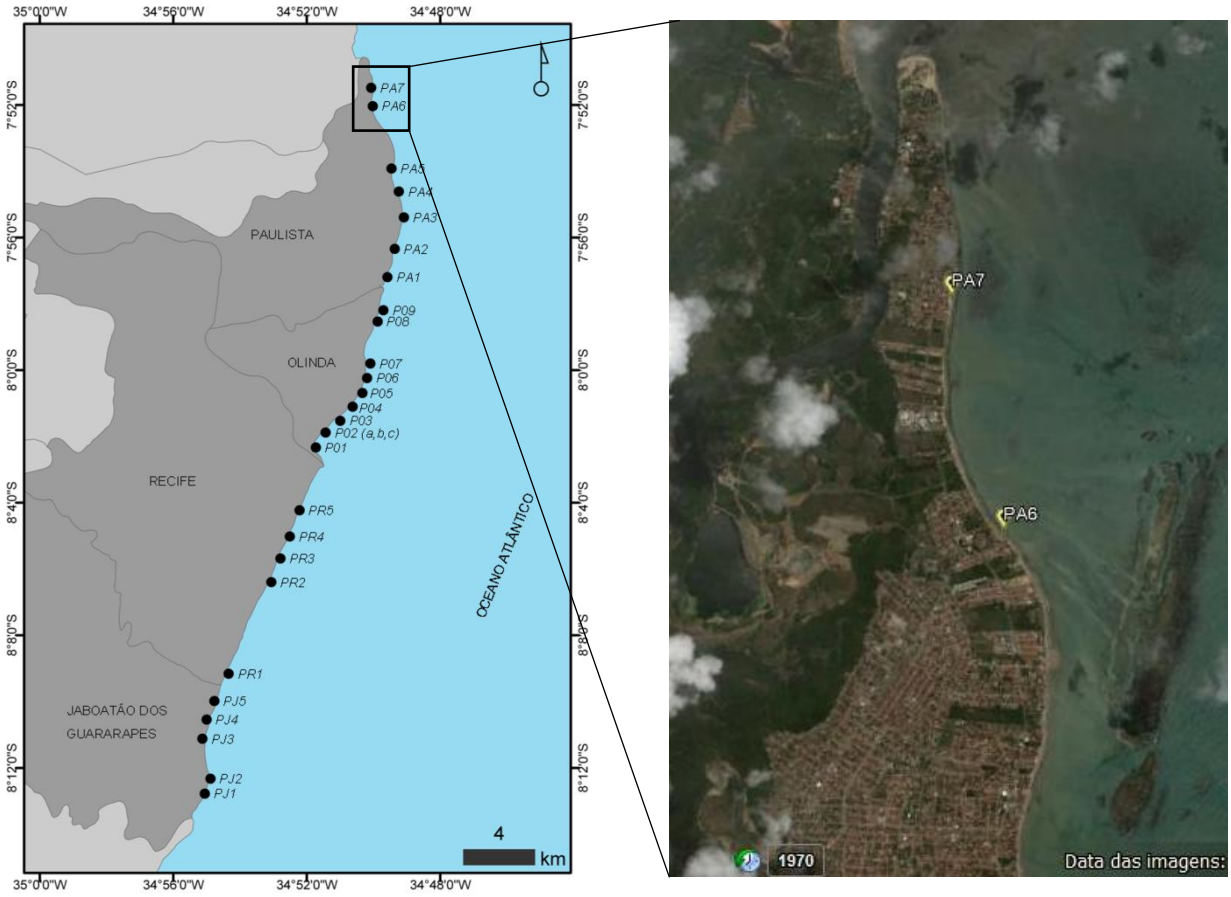


Figura 11 – Localização dos perfis de praia contemplados no estudo de caso (PA6 e PA7). Ambos se localizam na porção norte do litoral de Paulista e, apesar da proximidade geográfica, apresentam características e comportamento distintos (Fonte da Imagem de satélite: *Google Earth*).

Tabela 13 – Características dos perfis PA6 e PA7, localizados na porção norte do litoral do município de Paulista (Fonte: FINEP/UFPE, 2009).

Perfil	**Volume (m^3/m)**	**Diâmetro médio do grão (mm)**	**Local/Referência**	**Latitude**	**Longitude**	**Descrição e comportamento do perfil durante o período monitorado**
PA6	94,04	0,3869 Areia média	Praia de Nossa Senhora do Ó Rua Sundão Bar da Bica	9128634 N	0298414 E	Pós-praia estreita e pouco vegetada; perfl praial variável em todos os seus setores
PA7	154,52	0,3421 Areia média	Praia de Conceição Rua Josefa Joaquim Albuquerque	9130694 N	0297748 E	Perfil praial completo, com pós-praia vegetada; comportamento estável, com pouca variabilidade ao longo do tempo

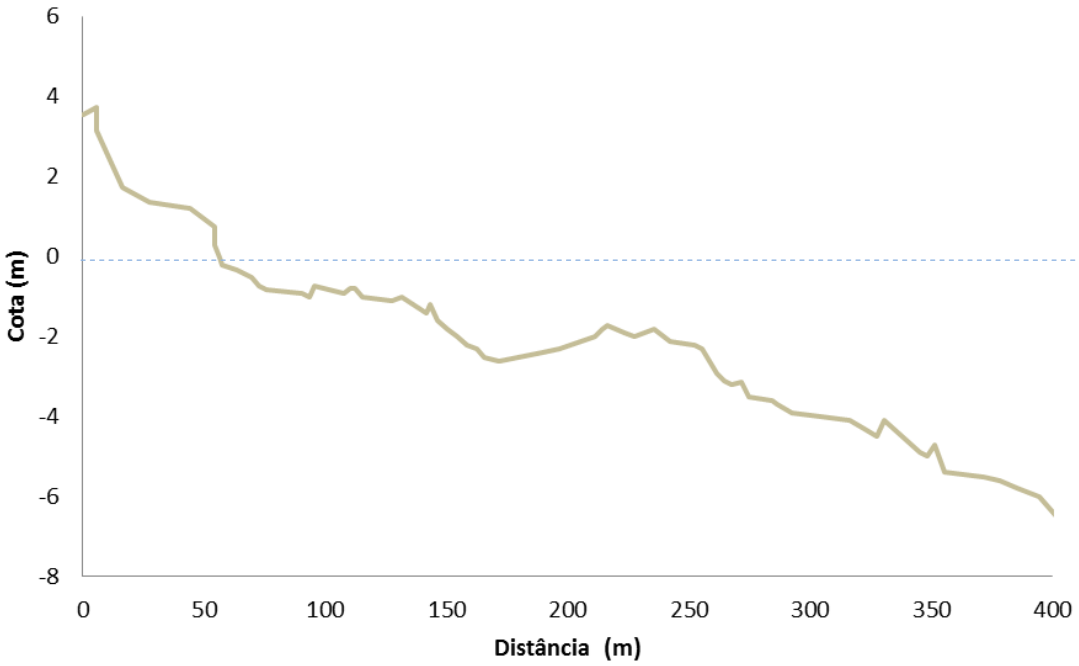


Figura 12 – Perfil representativo da Praia de Nossa Senhora do Ó (PA6), medido no mês de junho/2007 (perfil de menor volume ao longo do período monitorado).

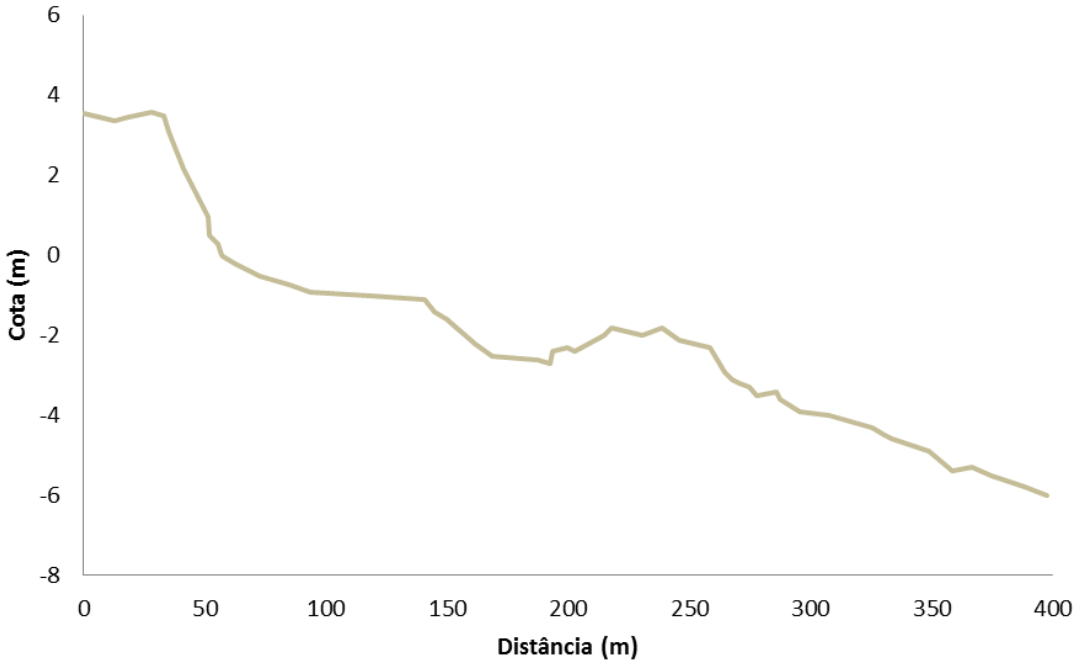


Figura 13 – Perfil representativo da Praia de Conceição (PA7), medido no mês de agosto/2007 (perfil de menor volume ao longo do período monitorado).

Análise dos perigos (Estágio II)

Uma vez que o cenário considerado como desencadeador do processo de erosão de curto-termo foram os eventos de alta energia atuantes na costa, os perigos aqui considerados foram caracterizados como sendo ocasiões que combinassem os efeitos das ondas mais energéticas com a sobreelevação do nível do mar de origem meteorológica (a qual contempla os efeitos da pressão atmosférica e dos ventos), conhecida como maré meteorológica. A maré astronômica, que contribui tanto na modulação de tais eventos quanto para os níveis de água observados junto à costa, foi considerada na análise, porém não na caracterização dos eventos, em virtude de sua natureza cíclica e previsível.

Estimativa da frequência (Estágio III)

Nesta etapa, essencial para a composição de um dos termos da equação que descreve o risco (ver Equação II), foram identificados os períodos de retorno associados aos eventos supracitados, a partir dos quais foram estimadas as probabilidades de ocorrência dos eventos/cenários de interesse. Para tanto, foi utilizado o banco de dados associado ao Sistema de Modelagem Costeira do Brasil (SMC-Brasil) (IH-CANTABRIA, 2013), bem como extraídas as estatísticas de onda em pontos próximos aos perfis PA6 e PA7.

O SMC-Brasil é uma aplicação informática que integra bancos de dados (batimetria, ondas e níveis) e modelos numéricos estruturados de acordo com as escalas espaciais e temporais das várias dinâmicas que afetam a morfologia de uma praia. Foi desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH) da Universidade de Cantabria (UC), com o apoio da Direção Geral de Costas do Ministério de Meio

Ambiente Espanhol e adaptado para a realidade ambiental da zona costeira brasileira por meio de parceria com o Ministério do Meio Ambiente do Brasil.

Para obtenção das estatísticas de ondas e níveis da água, foi utilizado o módulo *"Análise Matemática Estatística de Variáveis Ambientais" – AMEVA,* programa de análise estatística de variáveis ambientais voltado à caracterização e ao processamento dos dados disponíveis no banco de dados associado. Desta forma, foram obtidos valores médios e extremos, com os respectivos períodos de retorno de altura significativa, período e direção de onda, além de maré meteorológica. A partir dos períodos de retorno, foram calculadas as probabilidades de ocorrência de cada cenário, com base na relação apresentada na Equação III.

(Equação III) P(E) = 1/TR

Onde:
P(E) = probabilidade de ocorrência anual de um evento/cenário
TR = período de retorno (em anos)

Estimativa das consequências (Estágio IV)

A quantificação das consequências, ou impactos da ocorrência do evento indesejado constitui o segundo termo da Equação que descreve o risco (ver Equação II) e foi feita nesta etapa. Uma ressalva importante diz respeito ao nível de impacto considerado: a análise aqui proposta se limita aos aspectos físicos/geomorfológicos do ambiente praial, correspondendo ao primeiro nível de impactos propostos pelo IPCC (IPCC, 2012) – mudanças no ambiente físico/natural. Os níveis subsequentes – mudanças nos ecossistemas e efeitos adversos sobre condições humanas ou sociais – não foram aqui abordados.

Para a estimativa dos impactos foi utilizado o módulo PETRA – Modelo de Evolução do Perfil Transversal de Praia, que faz parte do pacote do SMC. O PETRA é um modelo morfodinâmico 2DV (duas dimensões na vertical), capaz de estimar a evolução do perfil praial em curto-termo. O modelo resolve as equações de transporte de

sedimentos considerando a zona de arrebentação e as mudanças batimétricas associadas à variação espacial do transporte de sedimentos. A magnitude do transporte depende das características do ambiente (sedimentação e batimetria) e das condições hidrodinâmicas (ondas e correntes). Desta forma, o PETRA fornece a resposta do perfil durante uma tempestade em termos de retração da linha de costa, perfil de praia resultante/evolução da batimetria, altura de onda, corrente de fundo e variação do nível médio, todos passíveis de visualização gráfica (IH-CANTABRIA, 2013).

Para a execução do modelo foi considerada a condição média de ondas como inicial para todas as simulações e os diferentes cenários (A, B, C, D, E, F e G) como condição final após 48 h. Os parâmetros utilizados para estimar os impactos foram: o volume de sedimentos mobilizado (m^3/m) e o máximo recuo horizontal da água a partir do nível médio (m), os quais são mensurados na saída do modelo.

Quantificação e classificação do risco (Estágio V)

Para a quantificação e classificação dos riscos, foi utilizada uma metodologia semiquantitativa, na qual os valores de probabilidade de ocorrência do evento indesejado e das suas consequências/impactos foram associados a pesos. Os pesos e a descrição associados à probabilidade de ocorrência anual dos eventos de alta energia, correspondentes ao primeiro termo da equação do risco, são a seguir apresentados (Tabela 14).

Tabela 14 – Probabilidade de ocorrência anual dos eventos de alta energia, descrição e peso associados.

Probabilidade de ocorrência anual (%)	Descrição	Peso
p<1	Improvável	1
1≤p<10	Baixa	2
10≤p<50	Possível	3

p≥50	Provável	4

Para a composição do termo Consequências ou Impactos (I), foram utilizados os valores de volume de sedimentos mobilizado (denominado i_1) e máximo recuo horizontal da água a partir do nível médio (denominado i_2). Para atribuição dos pesos correspondentes, bem como para a classificação, foram calculados média (*x*) e desvio padrão (σ) de cada parâmetro e utilizadas as correspondências apresentadas a seguir (Tabela 15). Posteriormente, foram somados os pesos de i_1 e i_2 para o cálculo do termo "Impactos", conforme a Equação IV.

Tabela 15 – Critérios utilizados para a atribuição dos pesos dos impactos simples resultantes da simulação.

Impacto	**Descrição**	**Peso**
$i < x-\sigma$	Mínimo	1
$x-\sigma \leq i < x$	Moderado	2
$x \leq i < x+\sigma$	Significativo	3
$i \geq x+\sigma$	Grave	4

(Equação IV) $I = i_1 + i_2$

Onde:

I = composição do Impacto (em peso)

i_1 = impacto associado à mobilização dos sedimentos (em peso)

i_2 = impacto associado ao máximo recuo (em peso)

A combinação entre todas as possibilidades de i_1 e i_2 resultou em oito pesos. Assim, para a classificação do risco, foi criada uma matriz *P x I* (4x8) para a qual foram utilizados os quartis (Q) na definição dos graus de risco, conforme apresentado a seguir (Tabela 16 e Figura 14).

Tabela 16 – Intervalos de P x I utilizados para a classificação do grau de risco.

Risco	Classificação
$P \times I < Q_1$	Baixo
$Q_1 \leq P \times I < Q_2$	Médio
$Q_2 \leq P \times I < Q_3$	Alto
$P \times I \geq Q_3$	Muito alto

Após a classificação, foi feita a interpretação ambiental dos resultados obtidos, bem como uma discussão sobre como os mesmos podem ser utilizados para uma melhor gestão da costa.

I (E) \ P(E)	1	2	3	4
8	8	16	24	32
7	7	14	21	28
6	6	12	18	24
5	5	10	15	20
4	4	8	12	16
3	3	6	9	12
2	2	4	6	8
1	1	2	3	4

Figura 14 – Matriz utilizada para a classificação do risco, onde P(E) corresponde à probabilidade de ocorrência de um evento e I(E) aos impactos decorrentes deste mesmo evento.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de risco

Os resultados da análise AMEVA, os quais foram utilizados para a criação dos cenários modelados, bem como a probabilidade de ocorrência anual de cada um deles, são apresentados nas Tabelas 17 e 18, para as áreas dos perfis PA6 e PA7, respectivamente. Em ambos os casos, é possível observar que os eventos mais energéticos, associados a maiores períodos de retorno – e consequentemente, a menores probabilidades de ocorrência anual, tem a componente sul da sua direção intensificada. Tal constatação está em consonância com o observado por autores como Costa (2008), Manso *et al*. (2006) e Pereira (1998), os quais associaram os eventos de alta energia observados na área à ocorrência de ventos de sudeste (SE), além de marés de sizígia.

Tabela 17 – Dados obtidos a partir da AMEVA e utilizados para as simulações da etapa metodológica descrita em (IV) para o perfil PA6.

			PA6			
Cenário	**Período de retorno (anos)**	**Probabilidade de ocorrência anual (%)**	**Altura significativa de onda (Hs) (m)**	**Período (T) (s)**	**Direção (°)**	**Maré meteorológica (m)**
Médio	---	---	1,30	7,23	110	0,00
A	2	50	2,30	15,50	136	0,10
B	5	20	2,50	16,80	137	0,14
C	10	10	2,60	17,10	138	0,16
D	25	4	2,70	17,80	139	0,18
E	50	2	2,75	18,00	140	0,19
F	100	1	2,80	18,20	140	0,19
G	200	0,5	2,90	18,3	141	0,19

Tabela 18 – Dados obtidos a partir da AMEVA e utilizados para as simulações da etapa metodológica descrita em (IV) para o perfil PA7.

PA7						
Cenário	**Período de retorno (anos)**	**Probabilidade de ocorrência anual (%)**	**Altura significativa de onda (Hs) (m)**	**Período (T) (s)**	**Direção (°)**	**Maré meteorológica (m)**
Médio	---	---	1,30	7,20	110	0,00
A	2	50	2,40	15,5	132	0,12
B	5	20	2,55	16,8	135	0,13
C	10	10	2,65	17,1	137	0,14
D	25	4	2,70	17,6	139	0,15
E	50	2	2,75	18	140	0,16
F	100	1	2,80	18,2	141	0,17
G	200	0,5	2,85	18,3	142	0,18

Conforme mencionado na metodologia, a estimativa de impactos aqui apresentada se limitou aos impactos físicos da ocorrência de eventos de alta energia, os quais foram estimados em termos de consequências observadas no perfil praial. Embora tenham sido rodados sete cenários (A, B, C, D, E, F e G) para cada um dos perfis (PA6 e PA7), devido ao comportamento semelhante em termos de morfologia, optou-se por apresentar graficamente somente os dois cenários extremos (A e G) de cada perfil (Figuras 15 a 18). Os resultados de todos os cenários são apresentados nas tabelas que seguem (Tabelas 19 e 20), nas quais podem ser percebidas maiores diferenças.

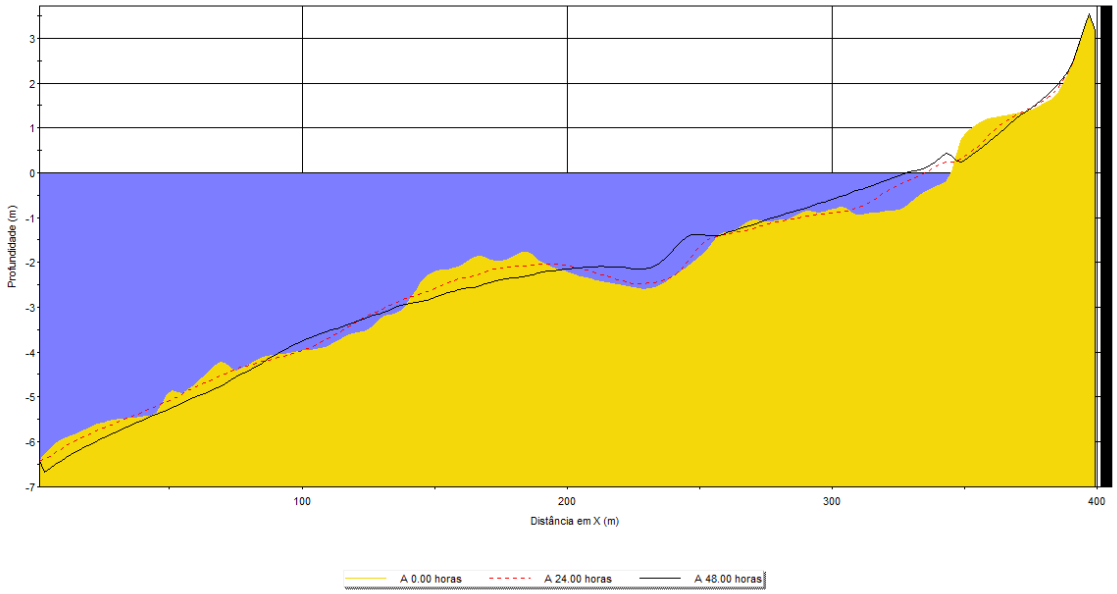


Figura 15 – Evolução morfológica do perfil PA6 no cenário A (evento com período de retorno de 2 anos).

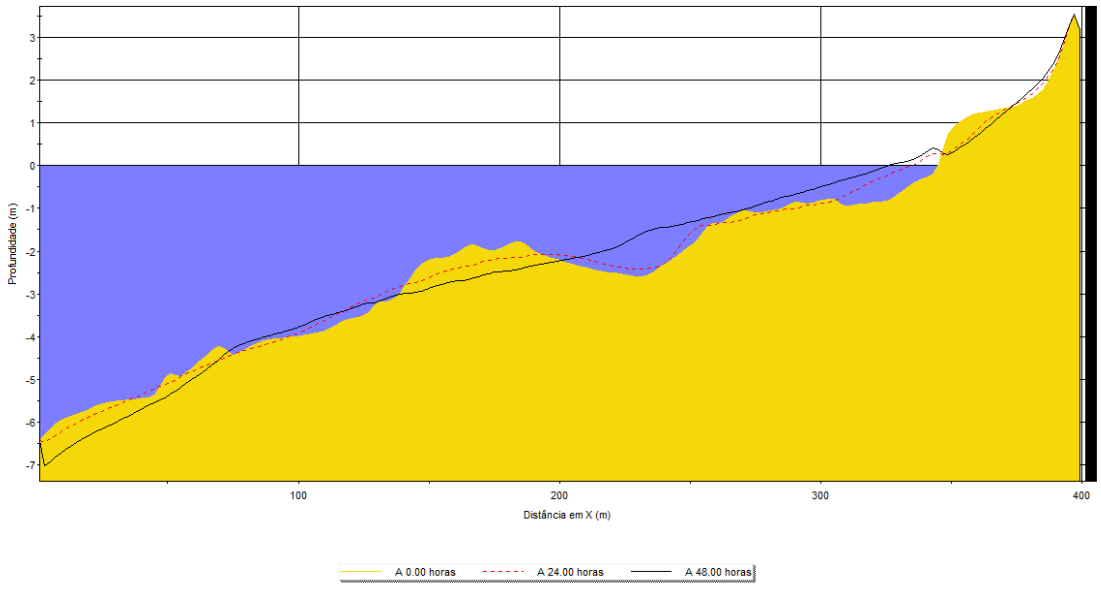


Figura 16 – Evolução morfológica do perfil PA6 no cenário G (evento com período de retorno de 200 anos).

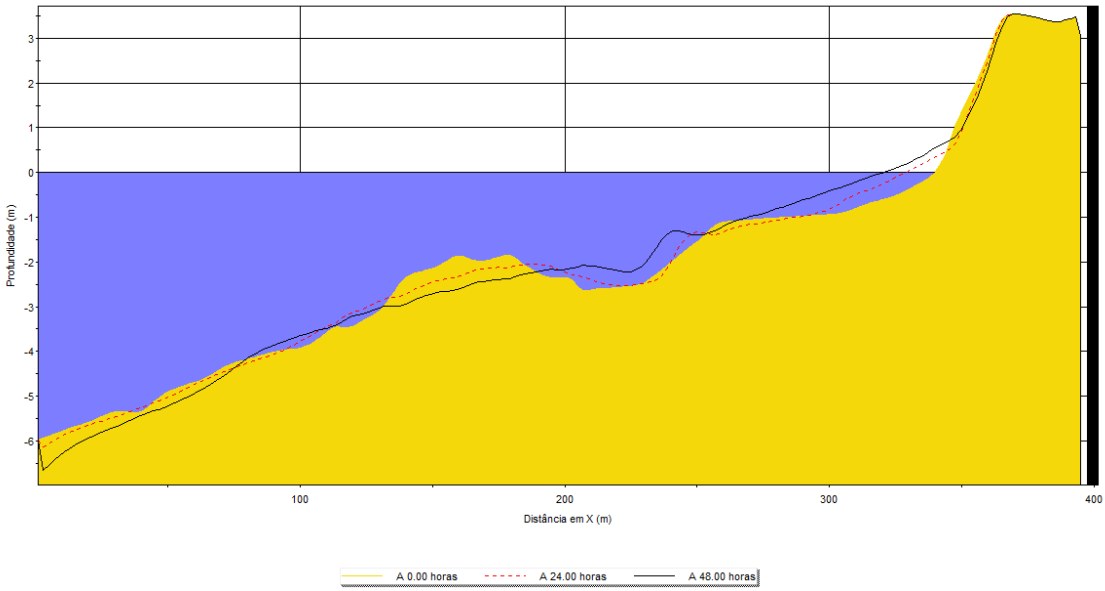


Figura 17 – Evolução morfológica do perfil PA7 no cenário A (evento com período de retorno de 2 anos).

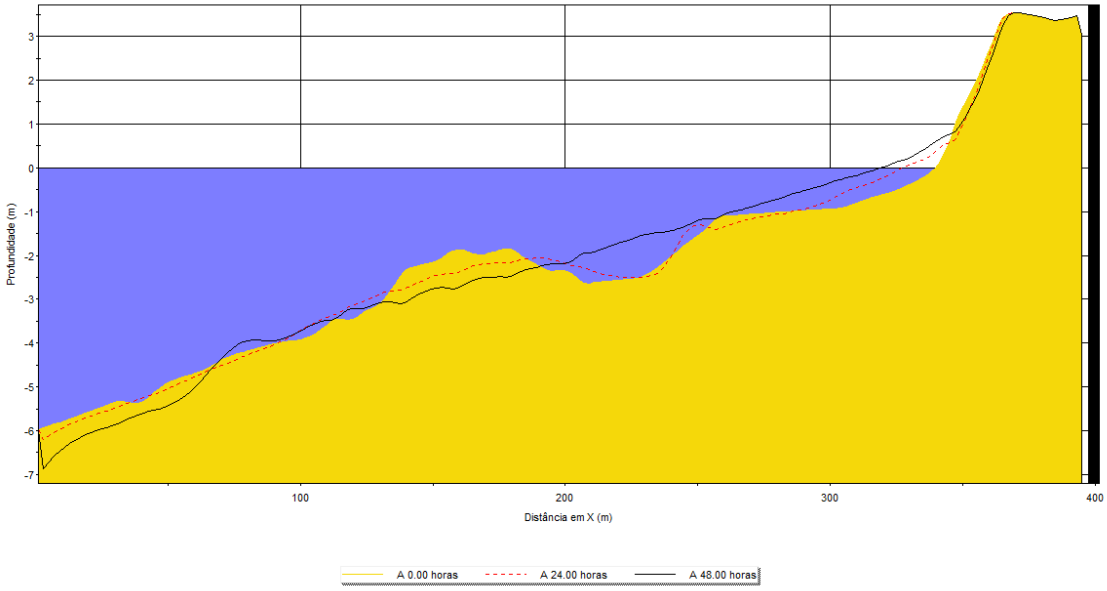


Figura 18 – Evolução morfológica do perfil PA7 no cenário G (evento com período de retorno de 200 anos).

Tabela 19 – Valores calculados pelo Módulo PETRA para os cenários modelados no perfil PA6.

Cenário	Volume de sedimentos mobilizado (m^3/m)	*Set up* (m)	Recuo máximo (m)
A	62,07	0,25	45
B	68,72	0,28	50
C	71,51	0,28	50
D	75,34	0,28	50
E	77,22	0,3	52
F	78,54	0,31	52
G	79,76	0,32	52

Tabela 20 – Valores calculados pelo Módulo PETRA para os cenários modelados no perfil PA7.

Cenário	Volume de sedimentos mobilizado (m^3/m)	*Set up* (m)	Recuo máximo (m)
A	62,14	0,22	26
B	69,78	0,26	27
C	72,57	0,26	29
D	74,89	0,26	29
E	77,57	0,26	29
F	78,12	0,26	29
G	79,57	0,26	29

Embora o módulo PETRA não trabalhe considerando separadamente as porções subaérea e subaquosa do perfil, foi possível observar, especialmente em PA6, que a mobilização de sedimentos se traduziu predominantemente na retirada da porção subaérea do perfil e na suavização da porção subaquosa. Valores associados de *set up* da onda e recuo máximo da água foram mais pronunciados em relação ao PA7. No que se refere ao PA7, embora o perfil tenha experimentado a mobilização de um volume maior de sedimentos ao longo do período, o mesmo não se traduziu num recuo máximo tão pronunciado, tampouco numa retirada de sedimentos da porção subaérea do perfil tão marcante. Tal comportamento pode ter se dado tanto em

função das características morfológicas do perfil quanto das características dos sedimentos.

A integração dos resultados referentes à Praia de Nossa Senhora do Ó (perfil PA6) na matriz de risco revelou que os cenários A e G apresentam médio risco, ao passo que B, C, D, E e F apresentam risco alto (Figura 19). Por sua vez, para a Praia de Conceição (perfil PA7) (Figura 20), os cenários A, B e G apresentam médio risco, ao passo que os demais cenários (B, C, D, E e F) estão associados a alto risco. Graus de risco extremos (baixo e muito alto) não foram identificados dentre os cenários modelados para nenhum dos perfis.

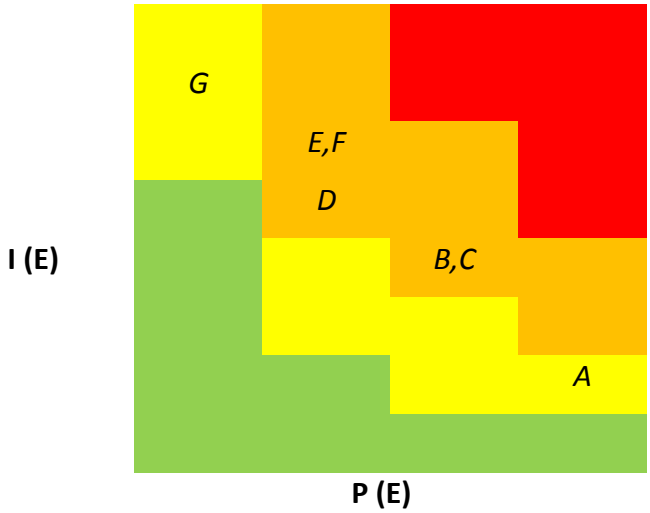


Figura 19 – Integração dos resultados de PA6 na matriz de risco.

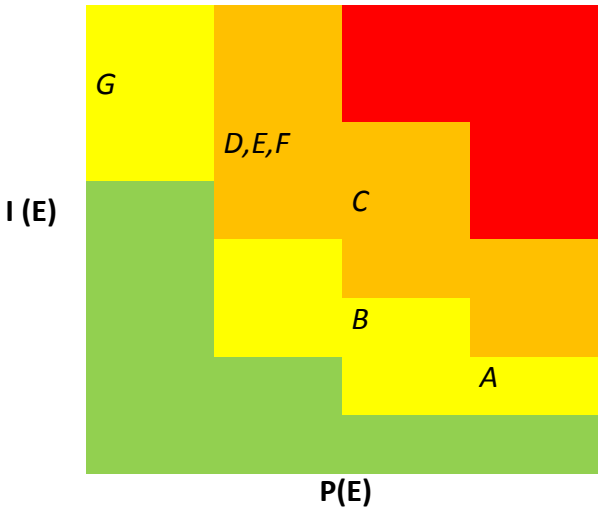


Figura 20 – Integração dos resultados de PA7 na matriz de risco.

A ocorrência de cenários classificados como de alto risco em função de eventos com períodos de retorno relativamente baixos, classificados como eventos possíveis, como é o caso dos cenários C e D para ambos os perfis, revela a necessidade de se atentar para uma gestão mais eficiente das praias analisadas, que contribua para a manutenção do papel do sistema praial, qual seja, de absorver a energia hidrodinâmica a ele imposta. Tal constatação se torna especialmente grave no contexto de praias urbanas - como é o caso das praias de Paulista - as quais possuem inúmeros equipamentos e ocupações e cujos impactos diante de eventos de alta energia extrapolam os danos físicos ao perfil.

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2012), os desastres climáticos têm impactos associados às dimensões físicas e sociais dos sistemas, de forma tal, que mudanças nos padrões de frequência e severidade de eventos desta natureza afetam o grau do risco associado. Outros fatores que contribuem para a composição do risco nestes casos incluem: a vulnerabilidade, associada à predisposição de um sistema em ser afetado negativamente; e a exposição, ou presença de recursos – pessoas, meios de subsistência, serviços e recursos ambientais, infraestrutura, bens econômicos, sociais ou culturais localizados em áreas que podem ser adversamente afetadas. Tais componentes apresentam variações de ordem temporal e espacial e são de grande importância na estimativa do

risco em análises que se aprofundem nos níveis subsequentes ao físico, aqui considerado.

Caso a análise de risco aqui apresentada tivesse extrapolado o primeiro nível de impactos, que segundo IPCC (2012), corresponde às mudanças físicas no ambiente, e contemplado ainda as mudanças nos ecossistemas e os efeitos sobre condições humanas ou sociais, possivelmente os impactos associados ao perfil PA6 teriam sido maiores, se comparados àqueles sofridos em PA7. Tal fato se supõe em função do recuo da água calculado, bem como da inexistência de setores do sistema praial neste trecho da costa e finalmente, pela presença de construções sobre setores da praia. Os impactos oriundos dos eventos de alta energia são agravados pelo aumento das pressões sobre o ambiente físico, decorrente da ocupação humana na zona costeira.

De acordo com o documento *Guidance Note for Uncertanity* (MASTRANDREA *et al.*, 2010), eventos associados a baixas probabilidades de ocorrência podem ter impactos significativos no que se refere à magnitude, persistência, prevalência e/ou irreversibilidade. Tendo em vista os sistemas aqui considerados – as praias arenosas – dificilmente, um evento de alta energia, ainda que severo, deverá promover um impacto irreversível no sistema praial, a menos que associado a um processo erosivo de médio/longo-termo ou a alguma intervenção estrutural. Especialmente no caso do Perfil PA7, em função das suas características de preservação dos setores da praia e de espaço para o desenvolvimento dos processos costeiros, é provável que mesmo um impacto grave seja revertido ao longo do tempo. De qualquer forma, dependendo da energia associada a este evento, impactos severos podem ser esperados.

Finalmente, a ideia de se trazer a experiência da área industrial no gerenciamento de risco tem potencial para ser trabalhada em maior profundidade e adaptada para a gestão de temas relacionados ao gerenciamento costeiro. Neste sentido, conceitos como o Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e o Plano de Ação de Emergência (PAE), os quais se destinam, respectivamente, a *"definir a política e diretrizes de um sistema de gestão, com vista à prevenção de acidentes em instalações ou atividades potencialmente perigosas"* e a *"definir as responsabilidades, diretrizes e informações,*

visando a adoção de procedimentos técnicos e administrativos, estruturados de forma a propiciar respostas rápidas e eficientes em situações emergenciais" (CETESB, 2003) poderiam ser aplicados a problemas como a erosão costeira de curto-termo. Para tanto, um caminho possível seria, partir de um Estudo de Análise de Risco (EAR) e considerar os três níveis de impactos possíveis – físicos, ecológicos e socioeconômicos - para que os riscos fossem contemplados de modo mais específico nas políticas e programas de gestão costeira e planos de ação de resposta fossem desenvolvidos para situações pós-eventos erosivos.

Potenciais aplicações da análise de risco no gerenciamento costeiro

Ampliar as capacidades de antecipar, preparar, responder e se adaptar às mudanças do litoral, e de resistir e se recuperar rapidamente de eventos indesejados com o mínimo de danos é um objetivo fundamental do gerenciamento de risco, que demonstra ter grande potencial de aplicação na gestão costeira. Análises de risco permitem antever frequências e consequências de eventos de alta energia, subsidiando um melhor planejamento de uso da costa. Num estágio avançado, outros conceitos relacionados, tais como o do risco assumido e o da taxação de riscos podem ser pensados para o planejamento de uso e ocupação da zona costeira.

Segundo McInnes (2016), avaliações de risco – as quais incluem a etapa de análise - são capazes de levantar e elucidar uma série de questionamentos acerca de eventos indesejados, tais como:

(i) o que poderia acontecer e em que prazo?;
(ii) por que estes eventos acontecem?;
(iii) qual é a chance de que tais eventos aconteçam?;
(iv) quais as perdas/danos podem ser causados pela sua ocorrência?; e
(v) como estes problemas podem ser gerenciados ou reduzidos?

Para Aven (2011), o risco é um conceito fundamental para a maior parte das disciplinas, embora não haja um consenso sobre como defini-lo e interpretá-lo. O

referido autor defende que o processo de tomada de decisão ideal deve ser *risk-informed,* isto é, aquele no qual a análise de risco é usada como insumo para o processo de tomada de decisão, ao contrário do método *risk-based,* na qual o risco é a base para o processo de decisão. No contexto do planejamento de uso e da gestão do litoral, tal afirmação é válida, uma vez que estão envolvidas inúmeras variáveis físicas, ecológicas, sociais e econômicas, que não podem ser negligenciadas durante o processo. Desta forma, a tomada de decisão deve extrapolar considerações, pesos e valores relacionados ao risco, de modo que cabe ao tomador de decisão fazer um balanço e ponderar todos os aspectos envolvidos nas suas decisões, isto é, realizar uma avaliação de risco propriamente dita.

O gerenciamento de risco contempla a adoção de medidas, tanto para evitar a ocorrência de ameaças ou perigos, quanto para reduzir suas potenciais consequências. Por sua vez, os propósitos do gerenciamento de risco incluem:

(i) garantir que medidas adequadas sejam tomadas para proteger pessoas ou ambientes e reduzir consequências indesejáveis das atividades em curso; e

(ii) fazer um balanço dos diferentes aspectos (AVEN, 2011).

Para o Projeto *Resilience Increasing Strategies For Coasts – Toolkit* (RISCKIT, 2014), no caso do gerenciamento de riscos costeiros, as características geomorfológicas e os impactos físicos não são as únicas questões envolvidas na percepção e resposta. Variáveis socioeconômicas, culturais, históricas e políticas têm grande influência sobre as medidas adotadas no intuito de reduzir riscos, de tal forma que, embora as medidas técnicas constituam boa parte da solução, a participação popular, o diálogo, a vontade política e a transparência são necessários para gerenciar os riscos costeiros, efetivamente e a longo-prazo. Adicionalmente, sinergias entre a gestão do risco de desastres, a conservação da natureza e a adaptação às mudanças do clima devem ser exploradas. Os autores sugerem ainda que, para a redução do risco associado a desastres costeiros, faz-se necessário um conjunto de estratégias, que contemplem prevenção, mitigação, preparação e resposta precoce. Cabe observar que embora

sejam de grande utilidade em áreas sujeitas à erosão episódica, algumas destas estratégias têm maior potencial de aplicação em áreas sujeitas a perigos costeiros mais drásticos, tais como furacões, *tsunamis*, erupções vulcânicas, entre outros.

No que tange à sua execução, embora a avaliação de risco envolva ciência, a mesma não se trata exatamente de um método científico. A ciência envolvida neste caso se refere especialmente à qualidade da informação de entrada (AVEN, 2011). Para o autor, o princípio da precaução constitui um caso especial de cautela aplicável em cenários de incerteza científica sobre possíveis consequências das atividades, ou no caso, dos eventos em questão. Tomadores de decisão podem reduzir risco por meio da implementação de políticas de cuidado/precaução. No caso específico dos sistemas costeiros, parte da incerteza relacionada aos eventos de alta energia se deve à inexistência de dados observacionais confiáveis e com séries suficientemente longas referentes às variáveis meteoceanográficas. Desta forma, a observação sobre o uso do princípio da precaução está plenamente em consonância com o que deve ser praticado no contexto do gerenciamento ambiental e, mais especificamente, do gerenciamento costeiro, tendo em vista a escassez de dados supracitada.

Estudos dedicados ao conhecimento das tendências de parâmetros de ondas, em especial altura significativa, período de pico e direção, além de condições extremas, tais como a frequência de alturas de ondas acima de limites particulares, têm se tornado cada vez mais importantes, uma vez que pesquisas têm demonstrado tendências de aumento da ocorrência de ondas extremas em áreas distintas do globo. Tais ocorrências têm como consequências o incremento de eventos de inundação e erosão costeiras, além da perda dos ecossistemas ali localizados (IPCC, 2012), o que reforça a demanda por dados observacionais nestas regiões.

Embora a gestão de risco de desastres tenha, historicamente, atuado sob a premissa de que o clima no futuro será semelhante ao do passado, é possível que os níveis de água extremos na costa sofram alterações tanto em intensidade quanto em frequência, em função de mudanças nas perturbações atmosféricas e de variações no nível do mar – ainda que este processo esteja associado a uma escala de tempo

distinta. As mudanças climáticas podem dificultar o processo de antecipação, avaliação e comunicação de riscos e, ainda, podem reduzir tempos de preparação, resposta e desenvolvimento de estratégias de gestão de riscos. Desta forma, apesar de a incerteza não constituir uma questão recente, num cenário de mudanças climáticas, um nível maior de incerteza deve ser considerado na avaliação dos riscos (IPCC, 2012).

No que se refere à percepção dos impactos (consequências), de acordo com Marchand (2010), existe uma ideia generalizada de que a erosão costeira é sempre irreversível, em especial imediatamente após eventos de alta energia, quando os seus efeitos se tornam mais evidentes e surge a demanda por obras de engenharia costeira, tanto por parte da população residente quanto dos tomadores de decisão. Neste sentido, faz-se necessária uma maior conscientização do público acerca dos processos costeiros e das diferenças entre a erosão estrutural (de médio e longo-termo) e a erosão episódica (de curto-termo). As ideias de que o litoral evolui constantemente em função das flutuações energéticas impostas pelo sistema oceano-atmosfera e de que um episódio de erosão pode ser seguido por acresção quando da alteração das condições de contorno, seja em escala sazonal, anual ou mais longa, devem ser difundidas para além do ambiente acadêmico.

No contexto abordado pelo presente estudo, no qual os sistemas praiais, os equipamentos ali localizados e suas funções ambientais são impactados diante de eventos relativamente frequentes, ganham força os conceitos de adaptação e resiliência. O primeiro conceito – adaptação - se refere ao processo de ajustamento da sociedade às condições naturais e seus efeitos, a fim de reduzir danos ou explorar oportunidades benéficas. Por sua vez, resiliência, refere-se à habilidade de um sistema e seus componentes para antecipar, absorver, adaptar-se ou se recuperar dos efeitos de um fenômeno perigoso de forma oportuna e eficiente, inclusive assegurando a conservação, restauração ou melhoria de estruturas e de suas funções básicas/ essenciais (IPCC, 2012). Especificamente no que se refere às zonas costeiras, Marchand (2010) define resiliência como *“a capacidade inerente da costa para acomodar as mudanças induzidas pela elevação do nível do mar, por eventos extremos e ocasionais*

impactos antrópicos, mantendo as funções cumpridas pelo sistema costeiro no longo prazo”.

A crescente urbanização das praias aumenta a demanda por estruturas de controle da erosão costeira, o que suprime ainda mais o espaço disponível para o desenvolvimento dos processos naturais, reduzindo, assim, a resiliência da costa. Portanto, as medidas e os planos de gestão da erosão costeira devem fazer parte de uma política mais ampla de gestão integrada da zona costeira, na qual devem estar contemplados o monitoramento das praias e os critérios de ocupação, entre outros aspectos. No que se refere ao estabelecimento de critérios para ocupação, uma opção consiste na adoção de linhas de recuo (*setback lines)*, cuja largura depende de critérios físicos, ambientais e socioeconômicos, e que estabelece proibições ou restrições para construções (MARCHAND, 2010). Neste sentido, a análise de risco pode, combinada a uma análise de deslocamento de linha de costa de médio/longo-termo, subsidiar a definição da largura/posição das linhas de recuo.

A adoção de políticas eficazes de gestão costeira pode ajudar a manter a dinâmica natural da linha de costa e preservar importantes ambientes costeiros. Práticas interessantes neste contexto incluem: a execução de estudos voltados à erosão costeira; a avaliação das vulnerabilidades relacionadas às mudanças climáticas; a identificação de áreas propensas a serem afetadas; a educação e o engajamento dos tomadores de decisão; o desenvolvimento de sistemas de alerta e a adoção de planos de resposta que reduzam a exposição humana aos eventos perigosos; o estabelecimento de códigos para construções apropriadas nas áreas costeiras; o desenvolvimento e a adoção de estratégias de adaptação; e o compartilhamento das lições aprendidas com outros gestores costeiros (RISCKIT, 2014).

Para McInnes (2016) uma das maneiras mais eficientes de se trabalhar na redução do risco, é por meio do desenvolvimento de uma "cultura de prevenção". A avaliação do risco é um elemento-chave na escolha de propostas de desenvolvimento para uma região costeira. A forma de gerenciar o risco pode ser muito complexa e única, para cada localidade, podendo incluir ferramentas/opções tais como: a aceitação do risco; a

transferência ou compartilhamento do risco por meio de seguros, compensações ou auxílios emergenciais; a exclusão de áreas vulneráveis por meio de um maior controle do seu desenvolvimento ou, ainda, a proteção do patrimônio ali localizado por meio da estabilização da costa ou da construção de estruturas para tanto.

De acordo com RISCKIT (2014), no que se refere a estratégicas eficazes para lidar com a erosão costeira, muitos estados têm optado pelo uso de técnicas de estabilização de costa não estruturais, as quais, ao contrário dos projetos estruturais, aumentam a capacidade natural da costa para absorver e dissipar energia de tempestades (e outros eventos energéticos). Exemplos incluem a engorda de praias, inclusive com uso de material dragado, a estabilização de dunas com o uso de cercas e vegetação, a proteção de áreas úmidas, a restauração de habitats e a relocação de estruturas seguida da remoção de detritos.

De qualquer forma, uma vez que não é possível domar a força da natureza, a possibilidade alternativa é compreender melhor os riscos enfrentados, para que as sociedades se tornem mais resistentes (MOORES; REES, 2011). Indivíduos e autoridades podem adotar comportamentos no sentido de reduzir os riscos por meio da redução dos impactos dos eventos perigosos a um nível considerado aceitável, uma vez que se tratando de eventos naturais, consequências em vez de causas são passíveis de atenuação (*US ARMY CORPS OF ENGINEERS*, 2013). Adicionalmente, esforços empreendidos em eventos do passado podem constituir a base para o aprendizado e a evolução no que tange ao manejo adaptativo da costa. Estratégias robustas e que podem apresentar um melhor desempenho neste sentido, tem ainda como característica ir além da situação momentaneamente vivenciada (IPCC, 2012) e englobar cenários pouco prováveis, como aqueles passíveis de previsão numa análise de risco.

Ainda no intuito de reduzir as consequências de eventos indesejados por meio do aumento da resiliência das cidades ante ocorrências/desastres naturais, os perigos naturais devem ser considerados nas decisões tanto por parte do setor público quanto do privado. Adicionalmente, a educação pode ser usada para criar uma cultura de

prevenção e resiliência voltada às comunidades costeiras. Podem ser ainda necessários o desenvolvimento ou a adaptação de políticas, leis, planos, programas e projetos com o propósito de reduzir riscos costeiros, de forma tal que este propósito deve estar integrado às políticas públicas e ao planejamento do desenvolvimento urbano junto às zonas costeiras. Neste sentido, o Estado de Pernambuco expressou sua preocupação e seu compromisso com a gestão do seu litoral frente às mudanças climáticas com a elaboração, no ano de 2010, das políticas estaduais de Enfrentamento às Mudanças Climáticas (Lei Estadual nº 14.090, de 17 de junho de 2010) (PERNAMBUCO, 2010) e de Gerenciamento Costeiro (Lei Estadual nº 14.258, de 23 de dezembro de 2010) (PERNAMBUCO, 2010b). Embora o risco não seja abordado pela Política Estadual de Gerenciamento Costeiro, ele está contemplado na Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas de diversas formas, voltado direta ou indiretamente à gestão costeira, conforme os trechos transcritos a seguir:

"Constituem estratégias de pesquisa, mitigação e de adaptação na gestão marinha e costeira, objeto de futura regulamentação: ... II - incentivar e implementar ações de monitoramento contínuo e integrado para manutenção e prevenção de riscos em zonas costeiras e ilhas oceânicas;..." (Capítulo III - Estratégias de Mitigação e Adaptação, Seção XI - Oceano e Gestão Costeira, Art. 17º);

"O Plano Estadual de Mudanças Climáticas será formulado visando a fundamentar e orientar a implantação da Política Estadual de Mudanças Climáticas de longo prazo, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos, com o seguinte conteúdo mínimo: ... VI - zoneamento socioeconômico e ecológico de risco climático compatíveis com a finalidade desta Lei;..." (Capítulo IV – Instrumentos, Seção I - Plano Estadual de Mudanças Climáticas, Art. 23º);

"O Poder Executivo Estadual estimulará a criação de Núcleos de Adaptação às Mudanças do Clima e Gestão de Riscos, no âmbito da Defesa Civil, nas diversas regiões do Estado, com o objetivo de estabelecer planos de ações de prevenção e adaptação

aos efeitos adversos da mudança global do clima." (Capítulo IV – Instrumentos, Seção VII – Defesa Civil, Art. 37º);

"O Poder Público poderá instalar sistema de previsão de eventos climáticos extremos e alerta rápido para atendimento das necessidades da população, em virtude das mudanças climáticas, que deverá incluir os seguintes elementos: I - realização de parcerias com organizações de previsão do tempo, de forma a facilitar a entrega, interpretação e aplicação dos dados no gerenciamento de riscos climáticos; ..." (Capítulo IV – Instrumentos, Seção VII Defesa Civil, Art. 39º).

Apesar de o conceito de risco ainda não ter sido incorporado efetivamente às práticas no que se refere à gestão costeira, algumas ações relacionadas já estão em execução/executadas. Assim, em 04 de agosto de 2015, foi instituída por meio do Decreto nº 42.010, a linha de costa de Pernambuco, bem como seu monitoramento periódico (a princípio, a cada cinco anos) (PERNAMBUCO, 2015). Adicionalmente, por meio de uma parceria entre a Universidade Federal de Pernambuco, a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco e a Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco, foi viabilizado o projeto intitulado *"Atlas da Vulnerabilidade Costeira de Pernambuco"*, com apoio do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e do Ministério do Meio Ambiente (MARTINS, 2015). Tais ações refletem a atenção que vem sendo dada ao tema e apontam para a possibilidade de, num futuro, existir dados e condições para que o uso do conceito de risco na gestão da costa seja uma realidade na esfera estadual.

Limitações da aplicação da análise de risco no gerenciamento costeiro

Embora tenham sido apresentados inúmeros benefícios da incorporação das análises de risco ao contexto da gestão costeira, algumas limitações devem ser consideradas. Desta forma, cabe observar que, mesmo com a implementação de medidas de controle da erosão costeira e de redução de riscos, o risco residual deve ser

considerado, especialmente se observado que tempestades, em algumas áreas costeiras, tendem a aumentar em frequência e intensidade (RISCKIT, 2014).

Para Rohrmann (2008), um impedimento na quantificação do risco reside no fato de que nem todos os impactos podem ser medidos (a exemplo de área de praia perdida, se aplicado ao contexto da zona costeira) ou expressos em termos financeiros (como as perdas materiais, advindas dos danos a edificações). Existem impactos subjetivos, tais como os transtornos dos moradores da orla, cuja quantificação não representa tarefa fácil ou necessariamente possível. Finalmente, Aven (2011) aponta como dificuldades no gerenciamento de riscos, a percepção e a comunicação do risco. Leigos, gestores e políticos não compreendem facilmente conceitos como probabilidade de ocorrência e incerteza, de modo que cabe aos analistas da área fazer uso de ferramentas que levem a uma adequada comunicação do risco.

5.4 CONCLUSÃO

É na zona costeira da Região Metropolitana do Recife que se desenvolvem inúmeras atividades, além da moradia, a exemplo do turismo de sol e mar, o qual se destaca como fonte de receita para os municípios ali localizados. Tais áreas, entretanto, são especialmente vulneráveis a eventos meteoceanográficos, o que vem acarretando impactos ao sistema praial, além de prejuízos e transtornos à sociedade. A erosão costeira tem causado perdas econômicas significativas na área, além de prejuízos ecológicos e sociais. Por esta razão, a compatibilização do uso e ocupação do litoral com os processos morfodinâmicos ali atuantes constitui, ao mesmo tempo, uma demanda urgente e um grande desafio, no qual as análises de risco podem fornecer subsídios consistentes.

Este estudo representa uma primeira aplicação do conceito de risco para a erosão costeira episódica no litoral de Pernambuco, o qual foi feito de maneira simples e semi-quantitativa. A proposta metodológica cumpriu o seu objetivo de ser fiel ao conceito do risco e permitiu, com o uso dos dados disponíveis, que fosse analisado o

risco à erosão de curto-termo no litoral de Paulista. Apesar dos comportamentos morfodinâmicos distintos, os graus de risco estimados para ambos os perfis foram semelhantes, o que pode ter refletido o pouco refinamento da metodologia.

Tendo em vista a utilidade deste tipo de análise na criação de sistemas de alerta precoce para eventos energéticos, no manejo costeiro preventivo e no planejamento de uso do litoral, faz-se necessário um estudo mais aprofundado no intuito de tornar as análises mais sofisticadas e abrangentes, contemplando outros impactos além daqueles observados no perfil praial. O desenvolvimento de uma metodologia mais robusta e sofisticada permitiria ainda considerar a forma como processos sazonais e interanuais interferem na probabilidade de ocorrência dos eventos de alta energia. A importância de se considerar tais especificidades reside no fato de que, ao contrário do que foi considerado na análise de risco ora executada, os eventos de alta energia não se distribuem de forma homogênea ao longo do ano, tampouco ao longo dos anos. Assim, a execução de análises específicas que considerassem, por exemplo, que no mês de agosto historicamente ocorrem eventos de alta energia com maior frequência (ver Capítulo 4) ou que nos anos de La Niña existe uma intensificação dos ventos e que ambos influenciam na análise de risco, traria resultados mais realistas e com maior potencial de aplicação na gestão costeira.

Outra melhoria interessante no que se refere à metodologia, seria considerar processos que ocorrem em distintas escalas temporais – curto, médio e longo-termos – como riscos competitivos. Neste caso, os processos nas distintas escalas competiriam para ver qual seria determinante do processo erosivo em cada segmento costeiro, o que permitiria responder a esta erosão de forma mais adequada e com a segurança de que boa parte dos processos envolvidos na evolução costeira teriam sido considerados pela análise.

No que se refere à aplicação de análises como esta, embora não seja possível agir sobre as forçantes que atuam na zona costeira, compreender melhor o comportamento de praias arenosas diante de eventos de alta energia, bem como os períodos de retorno associados a tais eventos, pode constituir a base para uma gestão

apropriada do litoral, quando do envolvimento dos atores intervenientes no gerenciamento costeiro. Embora esta situação constitua um grande desafio, uma vez que demanda um elevado nível de conhecimento acerca dos processos costeiros, a disponibilidade de um grande volume de dados e o comprometimento dos gestores costeiros, a mesma pode conduzir ao aumento da resiliência dos sistemas costeiros e das comunidades ali instaladas.

CAPÍTULO 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O litoral central de Pernambuco, onde se localiza a Região Metropolitana do Recife, concentra grande parte da população do Estado, além de apresentar grande atrativo comercial e turístico. Particularmente nos municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, a perda de sedimentos e, consequentemente, de áreas costeiras, decorrente da erosão de curto, médio e/ou longo-termo, representa grandes prejuízos econômicos, além da perda da função ambiental das praias e de transtornos aos moradores e ao poder público. Todo este contexto motivou a elaboração da tese ora apresentada.

No intuito de reduzir os danos e prejuízos associados ao processo erosivo, uma das maneiras mais eficientes é por meio da adoção de um gerenciamento costeiro adequado e adaptativo, o qual pode ser definido como um processo contínuo e dinâmico, que visa compatibilizar a mobilidade dos sistemas costeiros aos usos ali desenvolvidos, através do envolvimento de todos os atores intervenientes. Neste contexto, o uso de análises e avaliações de risco pode fornecer importantes subsídios para o planejamento de uso e ocupação do litoral, contribuindo para a gestão costeira.

Quanto às contribuições deste estudo, a revisão bibliográfica acerca das publicações dedicadas à aplicação do conceito de risco à problemática da erosão de praias arenosas demonstrou que, apesar do seu imenso potencial de uso, os estudos ainda são escassos e limitados. No que se refere ao risco enquanto ferramenta para o gerenciamento costeiro, as análises ainda se encontram em fase incipiente, e os conceitos são utilizados muitas vezes de maneira equivocada e/ou incompleta. São raros os estudos que contemplam o risco nas duas dimensões que o descrevem (incerteza – tratada também como probabilidade de ocorrência de um evento indesejado – e consequências ou impactos deste evento). A inexistência de séries longas e confiáveis de dados meteorológicos e oceanográficos em grande parte das zonas costeiras representa um obstáculo à realização e aplicação das análises de risco, uma vez que dificulta ainda mais o tratamento da incerteza associada às condições e eventos que desencadeiam episódios erosivos.

No que diz respeito ao processo erosivo observado junto à área de estudo, a análise da evolução costeira de médio-termo revelou que boa parte do litoral apresenta um comportamento estável. No entanto, existe uma visível redução na largura de setores do perfil praial, em especial da pós-praia, que pode, em muitos casos, ser associada à ação antrópica, notavelmente ao avanço da ocupação sobre setores do sistema praial. Tal ação reduz consideravelmente a resiliência costeira, prejudicando a capacidade das praias de se ajustarem diante de eventos de alta energia e ainda, de protegerem os recursos e atividades localizados à retrocosta, de modo tal que diversos pontos do litoral sofrem com a erosão episódica, ou de curto-termo. Entre estes, destacam-se as praias de Paulista, município que apresenta a maior criticidade no que se refere ao processo erosivo, dentre aqueles contemplados pelo estudo.

Quanto às forçantes envolvidas nos episódios pontuais de erosão, a análise de séries históricas confirmou a relação já mencionada em estudos pretéritos, de que os eventos de alta energia no litoral central de Pernambuco têm estreita relação com a intensidade e a direção dos ventos, estando especialmente associados à contribuição da componente meridional desta variável, mais especificamente, a valores positivos da mesma (de sul). Foi ainda possível observar a influência de fenômenos interanuais, por meio da intensificação desta componente durante anos de La Niña. Outra variável, cuja importância foi observada durante estas ocasiões, foi a maré astronômica. A ação de ventos, ondas e marés tem sido registrada nos periódicos locais e associada a episódios erosivos com prejuízos econômicos significativos à população litorânea, de modo tal, que a demanda pelo monitoramento permanente de variáveis meteoceanográficas, é não apenas real, como também urgente.

No intuito de fornecer subsídios para o planejamento e gerenciamento costeiro, foi incluída ainda, uma aplicação da análise de risco para o problema da erosão costeira de curto-termo, associada a eventos de alta energia. O estudo de caso foi conduzido tendo as praias de Nossa Senhora do Ó e Conceição, localizadas em Paulista, como área e contemplando aspectos físicos/geomorfológicos do sistema praial. A execução da análise mostrou que, com o uso de dados pretéritos e de ferramentas computacionais simples e acessíveis, é possível adaptar o conceito de risco para

problemas costeiros e fazer análises cujos métodos sejam fiéis ao conceito e cujos resultados sejam potencialmente úteis. Neste sentido, a experiência da área industrial no gerenciamento de risco poderia ser melhor explorada e adaptada para auxiliar no gerenciamento da erosão costeira e de outros problemas de competência dos gestores costeiros.

Quanto aos resultados da análise de risco realizada, a ocorrência de cenários classificados como de alto risco em função de eventos com períodos de retorno relativamente baixos, portanto, eventos possíveis, revela a vulnerabilidade do litoral e a necessidade de se atentar para uma gestão mais eficiente das praias analisadas. Tal modelo de gestão deve contribuir para a manutenção do papel do sistema praial no que se refere à absorção da energia a ele imposta. A constatação supracitada se torna especialmente grave no contexto de praias urbanas - como é o caso das praias do litoral central de Pernambuco - as quais possuem inúmeros equipamentos e ocupações, cujos impactos diante de eventos de alta energia extrapolam a os danos físicos ao perfil.

Ainda no que concerne às aplicações da análise de risco à erosão no processo de gestão da costa, a mesma pode servir como insumo para políticas públicas de regulação do uso e ocupação da linha da costa. Uma vez que não há possibilidade de se atuar no primeiro termo da equação do risco (probabilidade de ocorrência), quando se fala em eventos naturais, a única forma de reduzir o risco consiste em atuar na mitigação/atenuação dos impactos. Assim, por exemplo, seus resultados podem orientar o estabelecimento de faixas de não-ocupação do litoral, na perspectiva de manter as características paisagísticas, evitar os impactos associados à erosão costeira, promover a recuperação da funcionalidade do ambiente praial e manter os equipamentos urbanos adjacentes. Desta forma, impactos sobre o perfil seriam passíveis de reversão por meio da recomposição do perfil, e dificilmente acarretariam maiores danos ou danos irreversíveis.

O aumento da frequência e da magnitude dos eventos de alta energia nas zonas costeiras promove o aumento do risco associado a este tipo de perigo, ressaltando

ainda mais a importância do conhecimento do risco e da realização de análises desta natureza. Como principal recomendação deste estudo, além da inclusão do conceito de risco nas ações de gestão da costa, pode ser mencionada a preservação dos setores do sistema praial em sua totalidade. Tal medida amplia a capacidade da praia de migrar e de se ajustar às diversas condições energéticas, com efeitos mínimos. Desta forma, ainda que num cenário de aumento da faixa de praia - natural ou artificial – deve ser mantida a posição da zona edificada, e não deve haver avanço da mesma, como vem sendo observado ao longo do litoral central de Pernambuco, com redução da largura de praia, supressão de setores do sistema praial e demais consequências desastrosas.

No que diz respeito à escassez de informações, dada a complexidade e magnitude dos processos que caracterizam as zonas costeiras, faz-se necessária a implementação de ferramentas que não apenas ampliem o seu conhecimento, mas também subsidiem a gestão costeira. A elaboração e execução de políticas costeiras racionais e realistas passam por um suporte técnico adequado e pelo acesso a dados suficientes e confiáveis, os quais permitem a compreensão acerca do comportamento do litoral, a elaboração de prognósticos e a seleção das melhores opções em termos de planejamento de uso, ordenamento e intervenções.

Finalmente, no que tange às opções para lidar com o desafio de compatibilizar o uso e ocupação do litoral à realidade ambiental destas áreas, deve-se considerar a evolução da opção por “proteger” – prioritariamente focada no patrimônio em detrimento da mobilidade e integridade do ambiente – para “adaptar” – conceito mais abrangente, que considera outras possibilidades além da proteção do patrimônio. Para tanto, devem ser considerados, além de critérios relacionados à dinâmica costeira, questões ecológicas, legais, socioeconômicas, políticas e culturais. Trata-se, portanto, de um exercício contínuo e multidisciplinar, que requer amplo conhecimento técnico e esforços dos atores envolvidos, porém, cuja realização pode garantir a manutenção dos ambientes costeiros face à sua intensa e crescente ocupação.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, T.R. **Estudos de confiabilidade em reatores de pesquisa.** Dissertação de Mestrado, Comissão Nacional de Engenharia Nuclear, 2013.

ALMEIDA, L.P.; VOUSDOUKAS, M.V.; FERREIRA, Ó.; *et al.* Thresholds for storm impacts on an exposed sandy coastal area in southern Portugal. **Geomorphology**, v.143-144, p.3-12, 2012.

ANTARTIC CLIMATE & ECOSYSTEMS COOPERATIVE RESEARCH (ACE-CRC). **Government Coastal Planning Responses to Rising Sea Levels.** Disponível em: <http://www.acecrc.org.au/access/repository/resource/86d7f302-1512-102f-a3d0-40404adc5e91> Acesso em: 19 abr. 2012.

ARAUJO, T. C. M.; MALLMANN, D. L. B.; DROGUETT, E. L. Análise crítica dos estudos de risco aplicado à erosão de praias. *In*: ANAIS DO XIV CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO – ABEQUA. Natal, 2013.

ARAÚJO, T.C.M.; MALLMANN, D.L.B.; BARCELLOS, R.L. **Guia geomorfológico ilustrado do litoral de Pernambuco**. Petróleo, Recife, 184p. 2014.

ATLANTIC NETWORK FOR COASTAL RISKS MANAGEMENT (ANCORIM). **Riscos costeiros**: para melhor os compreender e lhes fazer face. Disponível em: <http://ancorim.aquitaine.fr/IMG/pdf/1a-GeneralGuide_PO.pdf.> Acesso em: 08 jun. 2012.

AVEN, T. **Quantitative Risk Assessment**: The Scientific Platform. Cambridge University Press, Cambridge, 224p. 2011.

BIO, A.; BASTOS, L.; GRANJA P.; *et al*. Methods for coastal monitoring and erosion risk assessment: two Portuguese case studies. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v.15, n.1, p.47-63, 2015.

BIRD, E.C.F; SCHWARTZ, M.C. **The world's coastline**. Van Nostrand einhold, New York. 1071p. 1985.

BONDESAN, M.; CASTIGLIONIT, G.B.; ELMI, C.; *et al*. Coastal areas at risk from storm surges and sea-level rise in Northeastern Italy. **Journal of Coastal Research,** v. 11, p.1354–1379, 1995.

BRAKENRIDGE, G.R.; SYVITSKI, J.P.M.; OVEREEN, I.; *et al*. Global mapping of storm surges and the assessment of coastal vulnerability. **Natural Hazards,** v.66, p.1295–1312, 2013.

BRASIL. **Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988**. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7661.htm> Acesso em: 01 out. 2014.

BRASIL. **Projeto Orla:** Fundamentos para Gestão Integrada**.** Secretaria de Qualidade nos Assentamentos Humanos, Brasília, 78p. 2002.

BUSH, D.M.; NEAL, W.J.; YOUNG, R.S.; *et al.* Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, v.42, n.8, p.647-670, 1999.

CALLIARI, L.J.; TOZZI, H.A.M.; KLEIN, A.H.F. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in Southern Brazil - Rio Grande to Chuí, RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências,** v.70, n.2, 1998.

CALLIARI, L.J.; GUEDES, R.M. C.; PEREIRA, P.S., *et al.* Perigos e riscos associados a processos costeiros no litoral sul do Brasil (RS): uma síntese. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v 14, n.1, p.51–63, 2010.

CASTILLO, M.E.; BALDW, E.M.; CASARIN, R.S.; *et al.* Characterization of Risks in Coastal Zones: A Review. **Clean: Soil, Air, Water**, v.40, p.894–905, 2012.

CEIA, F.R.; PATRÍCIO, J.; MARQUES, J.C.; *et al*. Coastal vulnerability in barrier islands: The high risk areas of the Ria Formosa (Portugal) system. **Ocean & Coastal Management,** v.53, n.8 p.478–486, 2010.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE (CEPAL). **Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: riesgos**. 118p. 2012.

CICIN-SAIN, B.; KNECHT, R.W.; JANG, D.; *et al.* I**ntegrated Coastal and Ocean Management:** Concepts And Practices. Island Press, Delaware, 517p. 1998.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). 2003. **Norma Técnica CETESB P4.261 -** Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análises de Riscos. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/analise-de-risco-tecnologico/14-normas-cetesb-p4261> Acesso em: 09 ago. 2013.

CORBELLA, S.; STRETCH, D.D. Multivariate return periods of sea storms for coastal erosion risk assessment. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.12, p. 2699-2708, 2012.

COSTA, A.P.A. **Quantificação do Impacto de Incertezas e Análise de Risco no Desenvolvimento de Campos de Petróleo.** Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

COSTA M.B.S.F.; PONTES P.M.; ARAUJO T.C.M. Monitoramento da Linha de Preamar das Praias de Olinda - PE (Brasil) como Ferramenta à Gestão Costeira. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.8, p.101-112, 2008.

COSTA, M.B.S.F.; MALLMANN, D.L.B.; PONTES, P.M.; *et al*. Vulnerability and impacts related to the sea level rising in the Metropolitan Center of Recife, Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v.5, n.2, p.169-177, 2010.

COSTA, M.B.S.F.; ARAÚJO, M.; ARAÚJO, T.C.M.; *et al*. Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. **Geomorphology**, v.253, p.318-327, 2016.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **El niño e La niña**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/> Acesso em: 10 out. 2016.

DALCIN, R.; SIMEONI, U. A model for determinig the classification, vulnerability bad risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy). **Journal of Coastal Research,** v.10, n.1, p.18-29, 1994.

DEAN, R.G.; DALRYMPLE, R.A. **Coastal Processes with Engineering Applications**. Cambridge University Press, Cambridge. 2004.

DEBOUDT, P. Towards coastal risk management in France. **Ocean & Coastal Management**, v.53, p.366–378, 2010.

DODDS, W.; COOPER, J. A. G.; McKENNA, J. Flood and coastal erosion risk management policy evolution in Northern Ireland: “Incremental or leapfrogging?” **Ocean & Coastal Management**, v.53, p.779-786, 2010.

DOWNS, T.J.; ROSS, L.; GOBLE, R.; *et al*. Vulnerability, risk perception, and health profile of marginalized people exposed to multiple built-environment stressors in worcester, Massachusetts: a pilot project. **Risk Analysis,** v.31, n.4 p.604-628, 2011.

DUARTE, H.O.; DROGUETT, E.L. Análise Quantitativa de Risco de uma unidade de recuperação de enxofre em uma refinaria de petróleo. **GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v.7, p.23-38, 2012.

DUARTE, H.O.; DROGUETT, E.L.; ARAÚJO, M. Quantitative Ecological Risk Assessment of Industrial Accidents: The Case of Oil Ship Transportation in the Coastal Tropical Area of Northeastern Brazil. **Human and Ecological Risk Assessment**, v.19, p.1457-1476, 2013.

DUTRA, F.R.L.S.; CIRANO, M.; BITTENCOURT, A.C.S.P. *et al.* Meteorological tides and episodes of severe coastal erosion on the coast of Salvador, Bahia State, Brazil. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 32, n. 4, p. 615-639, 2014.

DUTT, L.S.; KURIAN, M. Handling of Uncertainty – A Survey. **International Journal of Scientific and Research Publications,** v.3, n.1, p.1-4, 2013.

ELLIOT, S.J.; COLE, D.C.; KRUEGER, P.; *et al*. The power of perception: health risk attributed to air pollution in an urban industrial neighbourhood. **Risk Analysis** v.19, n.4, p. 621-634, 1999.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. (ESRI). ArcGIS. **Professional GIS for desktop**, versão 9.2. CA. 2009.

EUROPEAN COMMISSION. **Living with Coastal Erosion in Europe – Sediment and Space for Sustainability.** Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 40p. 2004.

FERREIRA, O.; GARCIA, T.; MATIAS, A.; *et al.* An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores. **Continental Shelf Research**, v.26, p.1030-1044, 2006.

FERREIRA, Ó.; CIAVOLA, P.; ARMAROLI, C.; *et al*. Coastal Storm Risk Assessment in Europe: Examples from 9 study sites. **Journal of Coastal Research,** Special Issue, v.56, p.1632–1636, 2009.

FERREIRA JR., A.V.; ARAUJO, T.C.M.; COLTRINARI, L. Ambientes de Formação, Processos de Cimentação de Arenitos de Praia e Indicadores de Variações do Nível do Mar. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v.5, p.938-960, 2011.

FERREIRA JR., A.V.; ARAUJO, T.C.M.; SIAL, A.N. Genesis of beachrock in coast of Pernambuco interpreted by isotopic studies. **Quaternary and Environmental Geosciences,** v.04, n.1-2, p.09-16, 2013.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS/UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (FINEP/UFPE). **Monitoramento Ambiental Integrado – MAI-PE**. Vols. 1, 2 e 3, Recife, 485p. 2009.

FISK, G.; KAY, R. **Dealing with Uncertainty in Climate Change Adaptation Planning and Developing Triggers for Future Action**. 2010. Disponível em: <http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=770015778984464;res=IELENG> Acesso em: 17 out. 2012.

FLOOD RISK ANALYSIS AND MANAGEMENT METHODOLOGIES (FLOODSite). **Report.** 2009. Disponível em: <http://www.floodsite.net/html/partner_area/project_docs/FLOODsite_Language_of_Risk_v4_0_P1%281%29.pdf> Acesso em: 09 ago. 2013.

FREITAS, D.; ARAUJO, R.S.; KLEIN, A.H.F.; *et al.* Quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras para a Enseada do Itapocorói – SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v.14, p.39–49, 2010.

GERRARD, M.B. Risks of Hazardous Waste Sites versus Asteroid and Comet Impacts: Accounting for the Discrepancies in U.S. Resource Allocation. **Risk Analysis,** v.20, n.6, p.895-904, 2000.

GODARD, O.; CLAUDE, H.; PATRICK, L.; *et al*. **Traité des Nouveaux Risques**: Précaution, Crise, Assurance. Gallimard, Paris, 620p. 2002.

GREENBERG, M.; TRUELOVE, H.B. Energy choices and risk beliefs: is it just global warming and fear of a nuclear power plant accident? **Risk Analysis**, v.31, n.5, p. 819-831, 2011.

GREIVING, S.; FLEISCHHAUER, M.; LÜCKENKÖTTER, J. A Methodology for an integrated risk assessment of spatially relevant hazards. **Journal of Environmental Planning and Management**, v.49, p.1–19, 2006.

GREVE, C.A.; COWELL, P.J.; THOM, B.G. Application of a Geographical Information System for Risk Assessment on Open Ocean Beaches. **Environmental Geosciences**, v.7, n.3, p.149–164, 2000.

GROOT, J.I. M.; STEG, L.; POORTINGA, W. Values, perceived risks and benefits, and acceptability of nuclear energy. **Risk Analysis**, v.33, n.2, p.307-317, 2012.

GUEDES, S.Z. **Implantação de uma Infraestrutura de Dados Espaciais com Base em Tecnologias Open Source para Riscos Costeiros**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Itajaí, 2010.

HIMANEN, R.; JULIN, A.; J”ANK”, K.; *et al*. Risk-informed regulation and safety management of nuclear power plants—on the prevention of severe accidents. **Risk Analysis,** v.32, n.11, p.1978-1993, 2012.

HINKEL, J.; KLEIN, R.J.T. Integrating Knowledge for Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change. *In*: MCFADDEN, L. AND E.C. PENNING-ROWSELL (Eds.). **Managing Coastal Vulnerability**: An Integrated Approach. Elsevier Science, Oxford. 2006.

HOEFEL, F.G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas, uma revisão bibliográfica.** Univali, Itajaí, 92p. 1998.

INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (IH – CANTABRIA). **Sistema de Modelado Costero, SMC. Manual de referencia y del usuario.** 2013. Disponível em: < http://hotsite.mma.gov.br/smcbrasil> Acesso em: 07 mai. 2014.

INNOCENTINI, V.; ARANTES, F.O.; FERREIRA, R.J.; *et al*. A agitação marítima no litoral nordeste do Brasil associada aos distúrbios africanos de leste. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, p.367-374, 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change:** The IPCC Impacts Assessment. First Assessment Report. 1990. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg_II/ipcc_far_wg_II_full_report.pdf> Acesso em: 05 jun. 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2012. Disponível em: <http://www.ipcc-wg2.gov/SREX/images/uploads/SREX-All_FINAL.pdf> Acesso em: 08 ago. 2012.

INTERNATIONAL STANDARD OFFICE/ INTERNATIONAL ELECTROTHECNICAL COMISSION (ISO/IEC). **Guide 73:** Risk management - Vocabulary - Guidelines for use in standards. 2002.

JADIDI, A.; MOSTAFAVI, A.M.; BÉDARD, Y.; *et al*. Using geospatial business intelligence paradigm to design a multidimensional conceptual model for efficient coastal erosion risk assessment. **Journal of Coastal Conservation,** v.17, p.527–543, 2013.

JELÍNEK, R.; KRAUSMANN, E. **Approaches to tsunami risk assessment**. EUR 23573 EN, JRC48713. OPOCE, Luxembourg. 2009.

JIMENEZ, J.A.; SANCHO-GARCIA, A.; BOSOM, E.; *et al.* Storm-induced damages along the Catalan coast (NW Mediterranean) during the period 1958–2008. **Geomorphology**, v.143-144, p.24-33, 2012.

KHOSHRAVAN, H. Beach sediments, morphodynamics, and risk assessment, Caspian Sea coast, Iran. **Quaternary International,** v.167-168, p. 35–39, 2007.

KLEIN, R.J.T. **Coastal vulnerability, resilience and adaptation to climate change: an interdisciplinary perspective**. Kumulative Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 2002.

KRON, W. Coasts: the high-risk areas of the world. **Natural Hazards**, v.66, p.1363–1382, 2013.

KUSKY, T.M. **Encyclopedia of Earth Science.** City University Library, Everett. 2005.

LEATHERMAN, S.P. **Barrier Island Handbook**. University of Maryland, Maryland. 1988.

LIN, I.; GONI, G.J.; KNAFF, J.A.; *et al*. Ocean heat content for tropical cyclone intensity forecasting and its impact on storm surge. **Natural Hazards,** v.66, p.1481-1500, 2013.

LINS-DE-BARROS, F.M. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do município de Maricá, Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.6, n.2, p.83–90, 2005.

LOZOYA, J.P.; SARDA, R.; JIMENEZ, J.A.A methodological framework for multi-hazard risk assessment in beaches. **Environmental Science & Policy**, v.14, p.685-696, 2011.

LUO, S.; WANG, H.; CAI, F. An integrated risk assessment of coastal erosion based on fuzzy set theory along Fujian coast, southeast China. **Ocean & Coastal Management**, v.84, p.68-76, 2013.

MALLMANN, D.L.B.; ARAÚJO, T.C.M. Vulnerabilidade física do litoral sul de Pernambuco à erosão. **Tropical Oceanography**, v.38, n.2, p.133-155, 2010.

MALLMANN, D.L.B.; ARAUJO, T.C.M.; DROGUETT, E.L. Caracterização do litoral central de Pernambuco (Brasil) quanto ao processo erosivo em curto e médio-termo. **Quaternary and Environmental Geosciences,** v.5, n.2, p.137-154, 2014.

MANSO, V.A.V; TOLDO JR., E; MEDEIROS, C.; *et al.* Perfil praial de equilíbrio da praia de Serinhaém, Pernambuco. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.2, n.1, p.45-49, 2001.

MANSO, V.A.V.; COUTINHO, P.N.; GUERRA, N.C.; *et al*. *In*: Pernambuco. MUEHE, D. (ed.) **Erosão e progradação do litoral brasileiro.** Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 179-196. 2006.

MARCHAND, M. (Ed.). **Concepts and Science for Coastal Erosion Management**. Concise report for policy makers. Deltares, Delft. 32p. 2010

MARTINEZ, M.L.; INTRALAWAN, A.; VAZQUEZ, G.; *et al*. The coasts of our world: ecological, economic and social importance. **Ecological Economics**, v.63, p.254–272, 2007.

MARTINS, K.A. Vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas através de indicadores em Pernambuco, Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

MASSELINK, G.; AUGER, N.; RUSSELL, P.; *et al.* Short-term morphological change and sediment dynamics in the intertidal zone of a macrotidal beach. **Sedimentology**, v.54, p.39–53, 2007.

MASTRANDREA, M.D.; FIELD, C.B.; STOCKER, T.F.; *et al.* **Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties**. 2010. Disponível em: <http://www.ipcc.ch> Acesso em: 12 mai. 2016.

McFADDEN, L. **Vulnerability Analysis**: A Useful Concept for Coastal Management? *In*: MCFADDEN, L.; NICHOLLS, R.; PENNING-ROWSELL (Eds.). Managing Coastal Vulnerability: An Integrated Approach. Elsevier Science, Oxford. 2006.

McINNES, R. **Responding to the Risks from Climate Change in Coastal Zones** - A good practice guide. Disponível em: < http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=RESPONSE_Good_Practice.pdf> Acesso em 15 mai. 2016.

MEUR-FÉREC, C.; DEBOUDT, P.; MOREL, V. Coastal Risks in France: An Integrated Method for Evaluating Vulnerability. **Journal of Coastal Research,** v.2, p.178–189, 2008.

MINISTRY OF AGRICULTURE, FISHERIES AND FOOD (MAFF). **Flood and coastal defence project appraisal guidance 4:** Approaches to risk. Publication PB4907, HMSO, London. 2000.

MODARRES, M. **Risk Analysis in Engineering**: Techniques, Tools, and Trends. CRC/ Taylor & Francis, 401p. 2006.

MOORES, A.J.; REES, J.G. (ED.). **UK Flood and Coastal Erosion Risk Management Research Strategy.** Living With Environmental Change. 2011. Disponível em: < http://www.nerc.ac.uk/research/partnerships/lwec/products/publications/fcerm/> Acesso em: 17 mai. 2016.

MORPHOLOGICAL IMPACTS AND COASTAL RISKS INDUCED BY EXTREME STORM EVENTS (MICORE). **The MICORE Project Results**. 2011. Disponível em: <https://www.micore.eu/index.php> Acesso em: 04 fev. 2013.

MUEHE, D. **Mudança do clima e efeitos possíveis sobre as praias.** 2010. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/62ra/simposios/SI%20Dieter_Muehe.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2013.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). **Introduction to storm surge**. Disponível em: <www.nws.noaa.gov/om/hurricane/resources/surge_intro.pdf> Acesso em: 20 dez. 2013.

NAVARRO, A.F. **Métodos de Calculo dos Riscos:** O furacão Sandy, a contabilidade das perdas. Disponível em: <https://www.editoraroncarati.com.br/v2/Artigos-e-Noticias/Artigos-e-Noticias/metodos-de-calculo-dos-riscos-o-furacao-sandy-a-contabilidade-das-perdas.html> Acesso em: 10 mai. 2016.

NEVES, F.N.; MUEHE, D. Potential impacts of sea level-rise on the Metropolitan Region of Recife, Brazil. **Journal of Coastal Research,** SI14, p.116-131, 1995.

PEARCE, D. **Evaluating the socioeconomic impacts of climate change.** *In:* Climate change: Evaluating the socioeconomic impacts. OECD, Paris, p. 9-20. 1991.

PEDROSA, A.S. Risco de erosão no litoral Norte de Portugal: uma questão de ordenamento do território. **Sociedade & Natureza**, v.25, n.1, p.133-146, 2013.

PEREIRA, L. C. C. **Hidrodinâmica e sedimentologia da praia de Casa Caiada-PE, Brasil.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 1998.

PEREIRA, C.; COELHO, C. Mapas de Risco das Zonas Costeiras por Efeito da Ação Energética do Mar. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.13, n.1, p.27-43, 2012.

PEREIRA, C.; COELHO, C. Mapping erosion risk under different scenarios of climate change for Aveiro coast, Portugal. **Natural Hazards,** v.69, p.1033–1050, 2013.

PERNAMBUCO (Estado). **Lei nº 14.090, de 17 de junho de 2010.** Institui a Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas de Pernambuco, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/lei%2014.090;141010;20101229.pdf> Acesso em: 01 out. 2014.

PERNAMBUCO (Estado) (b). **Lei nº 14.258, de 23 de dezembro de 2010**. Institui a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/Lei%20Est%2014258;141010;20101228.pdf> Acesso em: 01 out. 2014.

PERNAMBUCO (Estado). **Decreto nº 4.010, de 04 de agosto de 2015**. Institui a linha de costa da zona costeira de Pernambuco, medida na preamar máxima atual. Disponível em: < http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=6&numero=42010&complemento=0&ano=2015&tipo=> Acesso em: 02 jun. 2016.

PIANCA, C.; MAZZINI, P.L.; SIEGLE, E. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. **Brazilian journal of oceanography**, v.58, n.1, p.53–70, 2010.

PILKEY, O.H.; COOPER, A. Society and sea level rise. **Science**, v.303, p.1781-1782, 2004.

PIOLA, A.R.; CAMPOS, E.J.D.; MOLLER, O.O. *et al.* Subtropical Shelf Front off eastern South America. **Journal of Geophysics Research**, v. 99, n. 3, p. 655–678, 2000.

PUGH, D.T. **Tides, surges and mean sea-level**: a handbook for engineers and scientists. Wiley, Swindon. 1987.

RAMSTORF, S. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. **Science**, v. 315, p.368-370, 2007.

RECHARD, B.P. Historical relationship between performance assessment for radioactive waste disposal and other types of risk assessment. **Risk Analysis**, v.19, n.5, p.763-807, 1999.

REESE, S.; MARKAU, H. **Risk handling & natural hazards**: new strategies in coastal defense – a case study from Schleswig-Holstein, Germany. Solutions to Coastal Disasters ´02 ASCE – American Society of Civil Engineers. p. 498-510. 2002.

RESILIENCE INCREASING STRATEGIES FOR COASTS – TOOLKIT (RISCKIT). **Disaster Risk Reduction Strategies in EU Coastal Areas**. 2014. Disponível em: <http://www.risckit.eu/ > Acesso em: 17 mai. 2016.

ROCA, E.; GAMBOA, G.; TÀBARA, J.D. Assessing the multidimensionality of coastal erosion risks: public participation and multicriteria analysis in a Mediterranean coastal system. **Risk Analysis**, v.28, n.2, p.399–412, 2008.

ROCHA, R.P.; SUGAHARA, S.; DA SILVEIRA, R.B. Sea Waves Generated by Extratropical Cyclones in the South Atlantic Ocean: Hindcast and Validation against Altimeter Data. **Weather and Forecasting,** v.19, n.2, p.398-410, 2003.

ROIG-MUNAR, F.X.; MARTIN-PRIETO, J.A.; RODRIGUEZ-PEREA, A.; *et al*. Risk Assessment of Beach–Dune System Erosion: Beach Management Impacts on the Balearic Islands. **Journal of Coastal Research**, v.28, n.6, p.1488-1499, 2012.

ROHRMANN, B. **Risk Perception, Risk Attitude, Risk Communication, Risk Management:** A Conceptual Appraisal (Keynote). 2008. Disponível em:

<http://tiems.info/dmdocuments/events/TIEMS_2008_Bernd_Rohrmann_Keynote.pdf > Acesso em: 06 abr. 2016.

ROLLASON, V.; FISK, G.; HAINES, P. **Applying the ISO 31000 risk assessment framework to coastal zone management.** 2010. Disponível em: <http://www.coastalconference.com/2010/papers2010/Verity%20Rollason%20full%20paper%202.pdf> Acesso em: 18 jul. 2012.

ROLLNIC, M. **Hidrologia, Clima de Onda e Transporte Advectivo na Zona Costeira de Boa Viagem, Piedade e Candeias – PE.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2002.

RUDORFF, F.M.; BONETTI, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 14, p.9-20, 2010.

RUGGIERO, P.; KAMINSKI, G.M.; KOMAR, P.D.; *et al*. Extreme waves and coastal erosion in the Pacific Northwest. *In*: **Proceedings of the 3º International Symposium, Waves'97**. p.947-961, 1997.

SHEPARD, C.C.; AGOSTINI, V.; ALLEN, T.; *et al*. Assessing future risk: quantifying the effects of sea level rise on storm surge risk for the southern shores of Long Island, New York. **Natural Hazards**, v. 60, p. 727–745, 2012.

SILVA, B.B.; ALVES, J.J.A.; CAVALCANTI, E.P.; *et al.* Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental,** v.6, n.3, 2002.

SIMÓ, D.H.; FILHO, N.O.H. Caracterização e distribuição espacial das "ressacas" e áreas de risco na ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Gravel**, v. 2, p. 93–103, 2004.

SIMPSON, J.H.; SHARPLES, J. **An Introduction to the Physical and Biological Oceanography of Shelf Seas**. Cambridge University Press, Cambridge, 424p. 2012.

SMALL, C.; GORNITZ, V.; COHEN, J.E. Coastal Hazards and the Global Distribution of Human Population. **Environmental Geosciences,** v.7, n.1, p.3-12, 2000.

SMITH, G.L.; ZARILLO, G.A. Calculating long-term shoreline recession rates using aerial photographic and beach profiling techniques. **Journal of Coastal Research,** v.6, n.1, p.111-120, 1990.

SOLDATI, M.; MAQUAIRE, O.; ZEZERE, J. L. *et al.* Coastline at Risk: Methods for Multi-Hazard Assessment. **Journal of Coastal Research**, SI61, p.335-339, 2011.

SOUZA, C.R.G. Coastal Erosion Risk Assessment, Shoreline Retreat Rates and Causes of Coastal Erosion Along the State of São Paulo Coast, Brazil. **Pesquisas em Geociências**, v.28, n.2, p.459–474, 2002.

SOUZA, C.R.C.; SUGUIO, K. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo Plan for coastal management. **Journal of Coastal Research**, v.35, p.530-547, 2003.

STERR, H.; KLEIN, R.; REESE, S. **Climate Change and Coastal Zones**: An Overview of the State-of-the-Art on Regional and Local Vulnerability Assessment. Elsevier. 1999.

SWAIN, A.D.; GUTTMANN, H.E. **Handbook of human-reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications**. Final report. 1983. Disponível em: <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0712/ML071210299.pdf> Acesso em: 15 jul. 2013.

TAUBENBÖCK, H.; POST, J.; ROTH, A.; *et al*. A conceptual vulnerability and risk framework as outline to identify capabilities of remote sensing. **Natural Hazards and Earth System Sciences,** v.8, p.409–420, 2008.

TESSLER, M.G.; GOYA, S.C. Conditioning factors of coastal processes in the Brazilian Coastal Area. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 17, p. 11-23, 2005.

THERON, A.; ROSSOUW, M.; BARWELL, L.; *et al*. **Quantification of risks to coastal areas and development : wave run-up and erosion**. *In*: CSIR-Science real and relevant conference, p.1-16, 2010.

UICN; WWF-BRASIL; IPÊ. **Metas de Aichi:** Situação atual no Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf2008_dcbio/_arquivos/metas_de_aichi_situao_atual_no_brasil__2011_download_147.pdf> Acesso em: 03 out. 2013.

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UNISDRT). 2009. Disponível em: <http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf> Acesso em: 05 ago. 2013.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Coastal Risk Reduction and Resilience.** CWTS 2013-3. Washington, DC: Directorate of Civil Works, US Army Corps of Engineers. Disponível em: < http://www.corpsclimate.us/docs/USACE_Coastal_Risk_Reduction_final_CWTS_2013-3.pdf> Acesso em: 19 mai. 2016.

VELOSO-GOMES, A.F.; NEVES, L.; BARBOSA, J.P. Erosion risk levels at the NW Portuguese coast: The Douro mouth - Cape Mondego stretch. **Journal of Coastal Conservation**, v.10, p.43–52, 2004.

WANG, J.; GAO, W.; XU, S.; *et al.* Evaluation of the combined risk of sea level rise, land subsidence, and storm surges on the coastal areas of Shanghai, China. **Climate Change**, v.115, p.537–558, 2012.

XING, L.; YUNXUAN, Z.; FANG, S.; *et al*. **A decision support framework for the risk assessment of coastal erosion in the Yangtze Delta.** 2013. Disponível em: <http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/part2/Papers/77_Paper.pdf> Acesso em: 05 jul. 2013.

ZIO, E.; AVEN, T. Industrial disasters: Extreme events, extremely rare. Some reflections on the treatment of uncertainties in the assessment of the associated risks. **Process Safety and Environmental Protection**, v.91, p.31-45, 2013.

ZIO, E.; PEDRONI, N. **Literature review of methods for representing uncertainty**. Cahiers de la Sécurité Industrielle, Foundation for an Industrial Safety Culture. 2013. Disponível em: <http://www.FonCSI.org/en/.> Acesso em: 06 ago. 2013.

ZONNO, I.V. **Integração da Análise de Risco na atuação da ANP.** Projeto Final de Curso, Agência Nacional do Petróleo, 2003.

APÊNDICE I

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais

Caracterização do litoral central de Pernambuco (Brasil) quanto ao processo erosivo em curto e médio-termo

Characterization of central coast of Pernambuco State (Brazil) regarding to short and medium-term erosion

Daniele Laura Bridi Mallmann[ac], Tereza Cristina Medeiros de Araújo[ad], Enrique López Droguett[be]

[a]Universidade Federal de Pernambuco, [b]The University of Maryland
[c]danielemallmann@gmail.com, [d]tcma@ufpe.br, [e]eld@umd.edu

Resumo

Este artigo tem por objetivo melhorar o entendimento acerca do processo erosivo em curso junto ao litoral central da Região Metropolitana do Recife em termos de espacialização do processo e escalas temporais envolvidas. Para tanto, foram analisadas variações de curto e médio-termo, além de revisados estudos anteriores, analisados indicadores de erosão e inventariados registros de danos noticiados nos principais jornais em circulação no estado. Os resultados obtidos mostraram que o processo não se comporta de maneira homogênea ao longo do litoral, o qual apresenta áreas de erosão intensa e outras nas quais o processo não ocorre ou é incipiente. Tampouco sob o ponto de vista temporal a área é homogênea, apresentando segmentos com distintos comportamentos da linha de costa nas diferentes escalas temporais consideradas. Ademais, foi possível observar um importante componente antrópico atuando sobre a redução da largura da pós-praia em determinados segmentos, representado pelo avanço da ocupação sobre setores do sistema praial. Os resultados do estudo evidenciaram a necessidade de se considerar a variabilidade espaço-temporal das praias estudadas antes de qualquer intervenção e demonstraram a importância de se desenvolver programas ou ações de manejo costeiro que preconizem a manutenção/restauração dos setores do sistema praial, uma das principais demandas ambientais atuais na região.

Palavras-chave: Gerenciamento costeiro; linha de costa; resiliência.

Abstract

This article aims for a better understanding of the ongoing erosion along the central coast of Recife Metropolitan Area in terms of the process and of spatial and temporal scales involved. For that, coastal variations of short and medium-term were analyzed, previous studies were reviewed, erosion indicators were surveyed and an inventory of damage records caused by erosion and reported in major newspapers in circulation in the state was conducted. The results showed that the process does not behave homogeneously along the coast, which present areas of intense erosion and other areas where the process does not occur or is incipient. Nor under the temporal point of view the area is homogeneous, presenting segments with distinct behaviors of shoreline in the different time scales considered. Moreover, we observed significant anthropogenic component acting on the reduction of the backshore width in certain segments, represented by the advance of the occupation on sectors of the beach system. The results of the study show us the necessity to consider spatial and temporal variability of the studied beaches before any intervention and demonstrated the importance of developing programs or actions of coastal management that prioritize the maintenance/restoration of the beach system, one of the main current environmental demands in the region.

Key-words: Coastal management; shoreline; resilience.

Introdução

As praias arenosas apresentam variabilidade ao longo da costa em diferentes escalas espaço-temporais, a qual está associada à atuação individual ou conjunta de múltiplos forçantes e processos (Esteves *et al.* 2006, Del Rio *et al.* 2007, Merlotto *et al.* 2014). A morfologia de uma praia pode ser alterada consideravelmente por efeitos erosivos ou construtivos em curto, médio ou longo-termo. O conhecimento sobre a forma como um sistema praial se comporta nas distintas escalas temporais é essencial, tanto para o desenvolvimento de projetos de proteção da costa quanto para o gerenciamento costeiro (Pilkey & Cooper 2004, Rahmstorf 2007, Costa *et al.* 2008). Para tanto, de acordo com Anfuso *et al.* (2007) existe uma ampla gama de métodos de estudo desta variabilidade,

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

os quais devem ser escolhidos com base nas escalas de espaço e de tempo envolvidas.

Nas últimas décadas, a erosão costeira tem se tornado um problema de magnitude crescente nas praias do litoral central de Pernambuco. As primeiras referências à erosão costeira no Estado datam de 1914 (FINEP/UFPE 2009), e reportam os danos causados pela construção de um molhe localizado junto ao Istmo de Olinda. Desde então, impactos relacionados ao processo erosivo têm sido observados em diversos pontos do litoral, especialmente nas áreas urbanas. Em resposta à erosão e no intuito de controlar o processo ou mitigar seus efeitos, os municípios têm optado por fixar a linha de costa, de tal forma que ao longo da área de estudo se observam inúmeras intervenções, feitas muitas vezes sem um bom entendimento acerca da dinâmica costeira. Tais intervenções modificam profundamente o ambiente costeiro, acarretam altos custos e têm resultados nem sempre satisfatórios, além de frequentemente transferirem a erosão para as praias adjacentes (FINEP/UFPE 2009) e causarem a perda da beleza cênica do litoral.

Neste artigo são analisadas alterações de curto e médio-termo, além de revisados estudos anteriores, analisados indicadores de erosão e inventariados registros do processo erosivo ao longo do litoral central da Região Metropolitana do Recife (RMR). Tais praias urbanas foram selecionadas porque representam um grande percentual do litoral pernambucano sob erosão, além de serem áreas importantes para o turismo, em termos socioeconômicos. Adicionalmente, representam praias estreitas e que sofrem historicamente com o déficit de sedimentos. Pretende-se, desta forma, adquirir uma melhor compreensão acerca dos pontos erosivos ao longo da área de estudo e das escalas temporais envolvidas no processo, bem como gerar informações que possam contribuir para o melhor gerenciamento da área.

Área de estudo

O litoral central de Pernambuco se estende por aproximadamente 40km, e está localizado entre os estuários dos rios Timbó e Jaboatão-Pirapama, compreendendo os municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes. Tal setor abrange os quatro municípios costeiros mencionados, que fazem parte da RMR, e 28 segmentos costeiros ambientalmente homogêneos, delimitados com base nas suas características geomorfológicas, de exposição, de orientação e de ocupação, a partir de uma adaptação da metodologia sugerida pelo Projeto Orla (Brasil 2002) (figura 1).

Na região, a planície costeira possui menos de 10km de largura e apresenta uma altitude média de 4m. É formada por depósitos sedimentares e alinhada na direção NNE-SSO. Extensos alinhamentos de arenitos de praia (*beachrocks*) constituem as feições mais conspícuas da linha de costa (Neves & Muehe 1995). Os ecossistemas presentes na região incluem manguezais, fragmentos de mata atlântica, recifes de coral e restingas. No que se refere à hidrografia, a área é bem drenada, com inúmeros rios e riachos, sendo o Rio Capibaribe o principal curso d´agua.

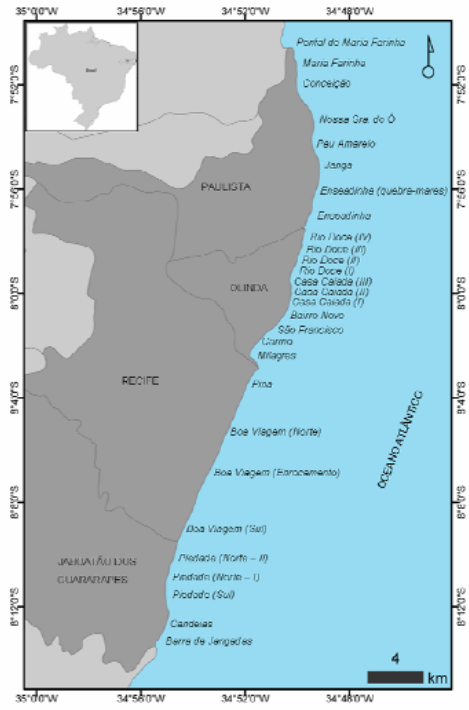


Figura 1: Localização da área de estudo com indicação dos 28 segmentos costeiros.

A área de estudo apresenta temperatura média anual em torno de 27°C e pluviosidade aproximada de 2000mm/ano, distribuídos de modo desigual entre os períodos seco e chuvoso. Predominam os ventos de E-SE, com velocidades médias de 3 a 5m/s (Manso *et al.* 2006a). As marés registradas na região são semi-diurnas, sendo classificadas em termos de amplitude como mesomarés.

A altura significativa de onda varia de 0,7 a 1,2m, com períodos médios entre 5 e 7s durante o verão (período seco) e de 0,9 e 1,4m, com períodos entre 6 e 8s durante o inverno (período chuvoso), conforme estudo conduzido por Rollnic (2002). Já as correntes costeiras variam ao longo do ano (FINEP/ UFPE 2009), sendo o sentido preferencial da deriva litorânea para norte.

Background

O processo erosivo ao longo das praias da Região Metropolitana do Recife é uma questão controversa. Estudos anteriores apresentam resultados e conclusões nem sempre convergentes, tendo em vista a dinâmica do sistema praial, as diferentes escalas temporais abordadas e os métodos utilizados. De acordo com

Manso *et al.* (2006b) no litoral central de Pernambuco, entre o Cabo de Santo Agostinho e a Ilha de Itamaracá – região que compreende a área de estudo – há evidências de erosão, cuja intensidade varia de moderada a severa. Em função da sua localização, junto a desembocaduras de rios e em áreas com cotas baixas, segundo Neves & Muehe (1995), os impactos advindos do aumento do nível do mar podem ser severos junto à Região Metropolitana do Recife. Os autores mencionam ainda que na região – com destaque para o litoral de Olinda – há um longo histórico de erosão associada à interrupção do transporte litorâneo, em função da construção de obras de engenharia costeira.

No município de Paulista, o processo erosivo é relativamente recente, sendo registrado a partir da década de 80 e estando possivelmente associado à construção dos molhes do Rio Paratibe (também conhecido como Rio Doce) (Costa 2002, Fisner 2008). Tal processo foi intensificado a partir da década de 90, o que demandou a construção de uma série de obras para a contenção da erosão (figura 2A). Em seus estudos, Manso *et al.* (2006b) apontaram, no ano de 2002, para uma situação de erosão moderada na Praia de Maria Farinha, com redução da largura da pós-praia e danos a estruturas localizadas nos distintos setores do sistema praial. Nas praias de Pau Amarelo e Janga, o processo erosivo era mais intenso na ocasião, com os mesmos impactos observados.

No que se refere ao município de Olinda, Araújo (2007) menciona que a ocorrência de fortes ressacas no início do século XX já vinha assustando os moradores, especialmente junto às praias dos Milagres e Del Chifre. De acordo com Pedrosa (2007), a erosão tem sido uma séria questão ambiental que parece afetar as praias de Olinda desde o início da sua urbanização. Já no final dos anos 40, de acordo com o autor, seguiu-se a retração da linha de costa nas praias dos Milagres, Carmo e São Francisco. Analisando a posição da linha de costa entre 1915 e 1970, o autor observou uma extensa indentação, acentuada na porção sul da cidade. Ao analisar a retração da linha de costa entre 1975 e 1984, Neves & Muehe (1995) encontraram valores em torno de -2,8m/ano na Praia de Rio Doce, sugerindo o estabelecimento de uma linha de controle de erosão ao longo do litoral. Segundo Manso *et al.* (2006b), no município, as praias de Casa Caiada e Milagres apresentavam, em 2002, um intenso processo erosivo.

Pereira *et al.* (1996) mencionam que as praias localizadas a norte da cidade de Olinda se encontram sob intensa erosão, em função de causas naturais e antrópicas. De acordo com Pereira *et al.* (2003), a atual configuração da praia resulta da evolução da costa influenciada pela construção de diversas estruturas de proteção costeira ao longo do litoral (figura 2B), as quais foram projetadas no intuito de mitigar o processo erosivo em curso no início dos anos 70.

Apesar da presença das obras de proteção costeira supracitadas, diversos pontos da linha de costa permanecem em erosão. Estudando as praias de Olinda, Borba *et al.* (2008) não encontraram durante o período monitorado tendências gerais de erosão ou acresção, mas identificaram períodos de predomínio de comportamento erosivo (agosto a setembro) ou acrescivo (dezembro a fevereiro) relacionados às variações na intensidade dos ventos e na altura de onda. Foi ainda observado que algumas estruturas urbanas, tais como calçadas e casas, localizadas nas praias de Bairro Novo e Rio Doce, onde não se observa pós-praia, são afetadas durante os meses de maior agitação marítima.

Em Recife, o processo erosivo na porção sul da Praia da Boa Viagem é conhecido desde o início dos anos 1990 (Gregorio & Araújo 2008, Gregorio 2010), tendo sido classificado por Manso *et al.* (2006b) como intenso, e apresentando como evidência o rebaixamento do perfil praial. O monitoramento por meio de perfis de praia, realizado entre Agosto de 2002 e Dezembro de 2005, revelou maiores variações morfológicas nas porções norte e sul da referida praia. Os perfis analisados, no entanto, não apresentaram comportamentos compatíveis com o descrito convencionalmente na literatura, não refletindo exclusivamente o ritmo sazonal de aumento e redução na energia de ondas, mas possivelmente respondendo a alterações na direção das correntes longitudinais (Gregório & Araújo 2008; Gregorio 2010).

Em seus estudos, Duarte (2002) analisou as praias do Pina e Boa Viagem (Recife) e de Piedade (Jaboatão dos Guararapes) e concluiu que, em curto e médio-termos, as praias do Pina e de Boa Viagem (porção norte) apresentam estabilidade, enquanto que a porção sul de Boa Viagem apresenta tendências erosivas e Piedade, tendências moderadamente erosivas. As análises de deslocamento de linha de costa conduzidas por Gregorio (2010) mostraram para a Praia do Pina uma pequena retração no período compreendido entre 1960 e 1974. Para o norte de Boa Viagem, foram observadas pequenas variações tanto positivas quanto negativas entre 1960 e 2008. Próximo ao enrocamento de Boa Viagem houve um deslocamento negativo anterior à construção da obra, a qual estabilizou artificialmente a linha de costa (figura 2C). Finalmente, os valores encontrados para o sul da mesma praia indicam retração da linha de costa para todo o período analisado.

Por sua vez, em Jaboatão dos Guararapes, Manso *et al.* (2006b) classificaram as praias de Piedade, Candeias e Barra de Jangadas como intensamente afetadas pelo processo erosivo (figura 2D). No local, segundo os autores, observou-se em 2002 a redução da largura da pós-praia, a destruição de edificações construídas junto à costa e o rebaixamento dos perfis. Costa & Oliveira (2009), analisando a Praia de Candeias, encontraram retração da linha de costa no período entre 1974-1986. Posteriormente, variações morfológicas foram analisadas por Torres (2008) através de perfis de praia conduzidos mensalmente entre abril de 2006 e setembro de 2007. A autora concluiu que os segmentos costeiros localizados entre

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

Barra de Jangadas e Candeias apresentaram perdas sedimentares aparentemente sazonais com tendência à acresção durante o período estudado. Nas proximidades de Candeias, a praia apresentou déficit sedimentar, assim como na porção sul de Piedade. No norte da mesma praia, os perfis são mais preservados, não apresentando tendência erosiva.

As divergências e a falta de informações conclusivas a respeito do processo erosivo ao longo da RMR podem estar relacionadas a fatores como abordagens metodológicas e escalas espaço-temporais distintas entre os estudos consultados, além da dinâmica intrínseca ao sistema em questão. Assim, a depender da época do ano, do método e do período amostral, a linha de costa pode, de fato, ter apresentado comportamentos distintos. Tais problemas poderiam ser sanados com a execução de monitoramentos das variações de curto e médio-termo, tais como levantamentos topográficos com periodicidade semanal a mensal e demarcação anual da posição da linha de costa, ambos utilizando procedimento metodológico padrão.

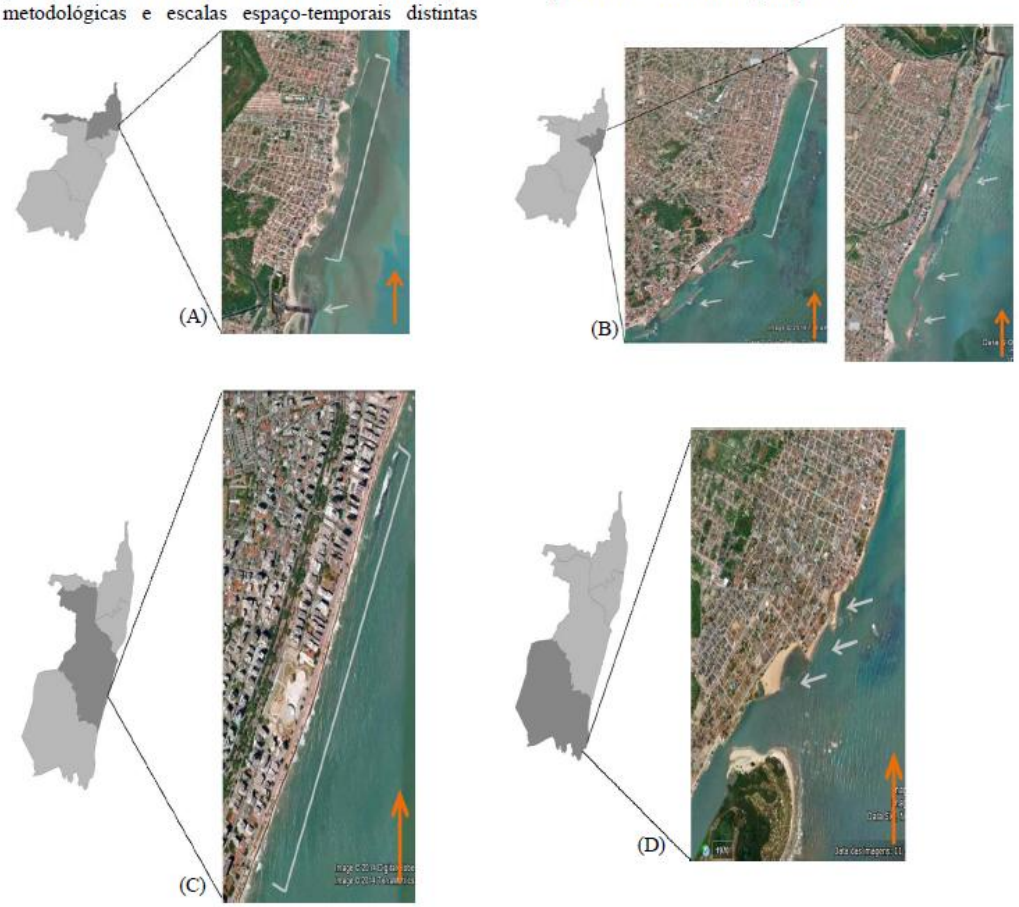


Figura 2: (A) Litoral de Paulista, mostrando os molhes do Rio Paratibe (seta cinza) e a sequência de quebra-mares (colchete cinza); (B) litoral de Olinda, com destaque para os quebra-mares de Milagres e Carmo (setas cinza) e a sequência de espigões de Bairro Novo (imagem da esquerda, sul do município) e os quebra-mares de Casa Caiada e Rio Doce (indicados por setas cinza, imagem à direita, região norte do município); (C) área do litoral de Recife que apresenta a costa imobilizada por um enrocamento; e (D) porção sul do litoral de Jaboatão dos Guararapes, onde as setas indicam a localização de obras de intervenção feitas junto à foz do Rio Jaboatão. Em todas as imagens, a seta vermelha indica a direção preferencial da deriva litorânea (para norte).

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

Métodos

O estudo foi dividido em duas partes: (i) evidências e histórico da erosão costeira e (ii) processo erosivo e escalas temporais associadas. Dados sobre a presença de indicadores de erosão coletados durante a execução do Projeto MAI (Monitoramento Ambiental Integrado) (FINEP/UFPE 2009) foram usados para auxiliar na definição de áreas sob erosão. Na ocasião, a abordagem metodológica para a coleta de informações foi adaptada de Souza (2001). Os seguintes indicadores (cinco) foram observados e mapeados com apoio do *software* ArcGIS 9.2 (ESRI 2009): raízes expostas, afloramento do lençol freático, redução ou ausência da pós-praia, danos a edificações e presença de obras de proteção costeira. Finalmente, foram analisados os arquivos *online* dos três principais jornais do estado (Diário de Pernambuco, Folha de Pernambuco e Jornal do Commercio), os quais permitiram a elaboração de um catálogo dos eventos erosivos incluindo a localização (na escala de município ou praia) desde o registro mais antigo disponível (1998) até o ano de 2013. Tais informações foram essenciais para ter uma noção da distribuição dos problemas erosivos em função de registros, histórico e evidências.

Para a segunda parte do estudo (ii) foram incluídas análises de curto e médio-termo referentes à morfologia, ao volume do perfil e ao deslocamento de linha de costa, além de dados sobre a largura da pós-praia e o deslocamento da zona de interesse (primeira linha edificada à retroterra). Para a evolução de médio-termo foram analisadas ortofotocartas datadas de 1974 (escala 1:2.000), além de dados provenientes de levantamento de campo conduzido em 2008 com o uso de GPS (*Global Positioning System*) geodésico de duas frequências da marca Rascal, cuja precisão é da ordem de centímetros para o posicionamento da linha de costa. O indicador utilizado foi a marca da maré mais alta e o deslocamento foi calculado seguindo as etapas: (1) identificação e digitalização da posição da linha de costa nas ortofotocartas; (2) inserção dos dados de campo no mesmo *geodatabase* dos dados de GPS em ambiente ArcGIS 9.2; (3) cálculo dos deslocamentos em cada ponto da linha de costa com o uso da extensão para ArcGIS DSAS 3.2 (Thieler *et al.* 2005), utilizando espaçamento de 10m e o método da variação dos pontos extremos (*end point rates)*.

No intuito de compreender as razões pelas quais algumas áreas com deslocamento de linha de costa positivo (progradação) apresentam indicadores, registros e/ou histórico de erosão, foram incluídas análises da largura da pós-praia (atual, medida a partir do cálculo da distância entre a linha de costa e a zona de interesse) e do deslocamento da zona de interesse. Para tanto, foi utilizada a mesma metodologia já descrita para o cálculo do deslocamento de linha de costa, utilizando as edificações (calçadas, pistas, muros, entre outros) como indicadoras para a digitalização das linhas.

Para a análise de curto-termo foi realizado o monitoramento mensal de 28 perfis de praia localizados em setores representativos da costa, realizados entre Maio de 2006 e Novembro de 2007 (figura 3). A análise foi baseada na variação de volume dos perfis, os quais foram utilizados para calcular a perda máxima de volume do perfil em relação ao volume médio (%), para cada praia monitorada. Os resultados são apresentados a seguir, organizados de norte para sul da área de estudo.

Resultados e discussão

(i) Evidências e histórico da erosão costeira

Indicadores

O processo erosivo deixa marcas nas praias, denominadas indicadores de erosão (Souza, 2001), os quais refletem a sua dinâmica (DEDUCE *Project* 2014) em termos de deslocamento da linha de costa e perdas sedimentares. Tais indicadores, conforme mencionado na Metodologia, foram registrados ao longo dos litorais de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, resultando na identificação de 44 pontos com presença de marcas do processo erosivo (figura 4).

O litoral de Paulista apresenta grande diversidade em termos da presença de indicadores, registrando todos aqueles considerados no presente estudo. No município, diversos pontos parecem estar em erosão, o que pode ser observado pela distribuição espacial dos indicadores, com destaque para a porção sul do município, na área dos quebra-mares do Janga/Enseadinha. No local, a presença de pontos de afloramento do lençol freático nas baías entre os múltiplos quebra-mares pode estar associada aos impactos negativos da construção dos mesmos, com criação de zonas erosivas, confirmadas pela análise do deslocamento da linha de costa (FINEP/ UFPE 2009). A Praia de Pau Amarelo também se destaca em termos de diversidade de indicadores, apresentando quatro entre os cinco considerados.

O município de Olinda, o qual sofre com problemas históricos de erosão, apresenta uma grande extensão de linha de costa imobilizada por obras de engenharia costeira. Nestas áreas, além da presença de obras, sobressai-se como indicador de erosão a ausência de pós-praia. Assim como em Paulista, os indicadores estão bem distribuídos ao longo do litoral, indicando que há diversos pontos/praias sob processo erosivo.

Em Recife, os indicadores observados se concentram numa pequena extensão, em sua porção sul, entre a área do enrocamento e a praia de Piedade. Por sua vez, em Jaboatão dos Guararapes, os pontos se concentram nas proximidades do quebra-mar de Candeias, mais especificamente a norte (sotamar), região para onde o processo erosivo foi transferido com a construção da referida obra, além de outras associadas ao estuário dos rios Pirapama e Jaboatão (Costa & Oliveira, 2009). Os indicadores mais frequentes foram a presença de obras de proteção costeira, presente em mais da metade dos segmentos estudados (16), seguido de redução ou

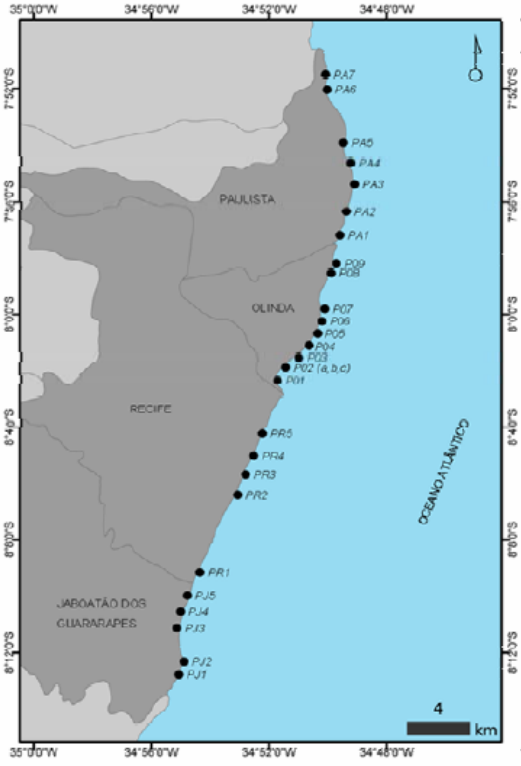
Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

ausência de pós-praia (12). As praias de Pau Amarelo (Paulista) e Candeias (Jaboatão dos Guararapes) se mostraram as mais diversas em termos de indicadores, sendo que a segunda apresentou todos aqueles considerados. Cabe lembrar que a análise de presença de indicadores consiste num método rápido que, no entanto, fornece apenas uma visão instantânea e pontual da praia sob o aspecto da erosão. Assim, tais dados separadamente não podem gerar informações conclusivas, embora ajudem a delimitar espacialmente a intensidade do processo.

Registros históricos em jornais

Para o período analisado (1998 a 2013), vinte e nove registros de eventos ou danos foram noticiados nos principais jornais (tabela 1). Os registros se referem tanto a eventos distintos quanto ao mesmo evento cujos danos foram registrados em localidades distintas. As praias mais noticiadas em função de prejuízos incluem Janga, Boa Viagem, Candeias, Brasília Teimosa, Pau amarelo, Piedade Milagres e Pina (em ordem do maior para o menor número de registros). Algumas notícias, no entanto, relatam apenas o evento ou o dano ocorrido no município, sem especificar a praia ou segmento onde o mesmo ocorreu (figura 5).

Analisando o número de registros por município é possível verificar que a maior parte dos danos ocorreu junto às praias de Paulista (44%). Este município é frequentemente acometido pelos prejuízos decorrentes da ação de ondas e marés. Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes figuram em cerca de 10%, 34% e 31% dos registros, respectivamente. Estruturas comumente afetadas incluem casas, muros, calçadas e quiosques. Outros danos são representados pela queda de coqueiros e pela perda de área de praia. Destacam-se os registros de dois prejuízos humanos diretos (acidentes com ferimentos) em situações e localidades distintas.



MUNICÍPIO		PERFIL	N
Paulista	Conceição	PA7	14
	Nossa Sra. do Ó	PA6	15
	Pau Amarelo	PA5	15
	Pau Amarelo	PA4	15
	Enseadinha (quebra-mares)	PA3	15
	Enseadinha (quebra-mares)	PA2	15
	Enseadinha	PA1	15
Olinda	Rio Doce (III)	PO9	16
	Rio Doce (II)	PO8	16
	Casa Caiada (III)	PO7	16
	Casa Caiada (III)	PO6	16
	Bairro Novo	PO5	19
	Bairro Novo	PO4	19
	Bairro Novo	PO3	19
	Carmo	PO2a	18
	Carmo	PO2b	19
	Carmo	PO2c	18
	Milagres	PO1	19
	Pina	PR5	19
	Boa Viagem (norte)	PR4	19
	Boa Viagem (norte)	PR3	19
	Boa Viagem (norte)	PR2	19
	Boa Viagem (sul)	PR1	19
Jaboatão dos Guararapes	Piedade (norte)	PJ5	14
	Piedade (norte)	PJ4	15
	Piedade (norte)	PJ3	13
	Candeias	PJ2	15
	Candeias	PJ1	15

Figura 3: Localização dos perfis de praia. De norte para sul, a tabela indica município, nome da praia, código do perfil e número de levantamentos topográficos mensais.

A maioria dos registros está relacionada a níveis de água mais elevados durante marés de sizígia. Diversos eventos estão ainda associados a ventos intensos, especialmente durante o mês de agosto. Conforme mencionado por Manso *et al.* (2006b) com base em observação feita em Boa Viagem no ano de 1994, no referido mês a intensificação do processo erosivo pode ocorrer em função das fortes ressacas decorrentes da combinação de ventos mais intensos com marés de sizígia.

Cabe observar que os registros de jornais não refletem necessariamente a frequência e magnitude de

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

danos, uma vez que não se trata de um registro sistemático de ocorrências. No entanto, conforme observado por Jimenez *et al.* (2012), na ausência de um banco de dados sistemático, os jornais provêm uma interessante fonte de informação, especialmente em litorais urbanizados, como é o caso da RMR. Na área, os registros de jornais confirmam o exposto pela distribuição dos indicadores de erosão no que se refere à generalização e intensidade do processo erosivo, especialmente no litoral do município de Paulista.

(ii) Processo erosivo e escalas temporais associadas

Médio-termo

A análise da evolução costeira de médio-termo revelou que a área exibe grande variedade de comportamentos e tendências. Uma síntese destes comportamentos, baseado nas taxas de deslocamento da linha de costa para cada município, pode ser vista nas figuras 6, 7, 8 e 9.

Em Paulista, os segmentos que apresentaram retração da linha de costa durante o período analisado compreenderam Maria Farinha (-0,19m/ano±0,22m), Pau Amarelo (-0,14m/ano±0,19m), e Enseadinha (-1,05m/ano±0,61m). As praias de Pontal de Maria Farinha e Nossa Senhora do Ó apresentaram acresção (+2,1 m/ano ± 0,81m e +1,37 m/ano ± 0,76m, respectivamente). As demais áreas apresentaram estabilidade, pequenas variações ou comportamentos variáveis ao longo do segmento, em especial aquelas sob influência de obras de proteção costeira.

No litoral de Olinda, os segmentos que apresentaram deslocamentos negativos de linha de costa incluem Rio Doce III (-0,34m/ano±0,12m), Rio Doce I (-0,39m/ano±0,15m) e Casa Caiada II (-0,14m/ano±0,06m). A Praia do Carmo apresentou comportamento erosivo nas extremidades e progradante no centro, onde uma saliência se formou em função da construção de um quebra-mar. Os segmentos Milagres e Casa Caiada I e III apresentaram deslocamentos positivos, provavelmente associados à presença de quebra-mares.

Em Recife, os três segmentos analisados apresentaram comportamento estável, tendendo a uma leve progradação, lembrando que tal comportamento diz respeito apenas ao período analisado e que para definir tendências seria necessário incluir mais posições de linhas de costa e realizar uma análise multitemporal. Finalmente, no litoral de Jaboatão dos Guararapes apenas o segmento Piedade Sul apresentou deslocamento negativo (-0,33m/ano±0,37m). O setor Norte da mesma praia não foi analisado devido à proximidade dos edifícios, o que impediu a obtenção de sinal do GPS durante os levantamentos de campo.

Mudanças na linha de costa, tais como as obsevadas no litoral da RMR, refletem padrões de acresção e erosão, causados pela interação entre processos que atuam em distintas escalas espaço-temporais (Rudorff & Bonetti 2010). No litoral da RMR, embora não haja estudo científico que mostre as causas da erosão com base na análise temporal de dados meteoceanográficos, é possível que as mesmas resultem da interação de distintos agentes naturais e antrópicos. Assim, em médio-termo, é possível que mudanças no clima de ondas e na deriva litorânea atuem promovendo a retração da linha de costa, cuja percepção se torna mais evidente devido à existência de um referencial próximo à costa, representado pelas edificações.

Embora não tenham sido contempladas por este estudo, as variações de longo-termo associadas às variações do nível do mar, podem estar sobrepostas aos deslocamentos de ordem decadal, uma vez que promovem o deslocamento de todo o sistema praial para a retroterra. A este respeito, Harari *et al.* (2008) mencionam para a região uma elevação do nível do mar da ordem de 5,432cm/década e Gregorio & Araújo (2008) lembram que a área se localiza numa região de evidente déficit sedimentar em longo-termo, o qual é bem indicado pela presença de *beachrocks* exumados.

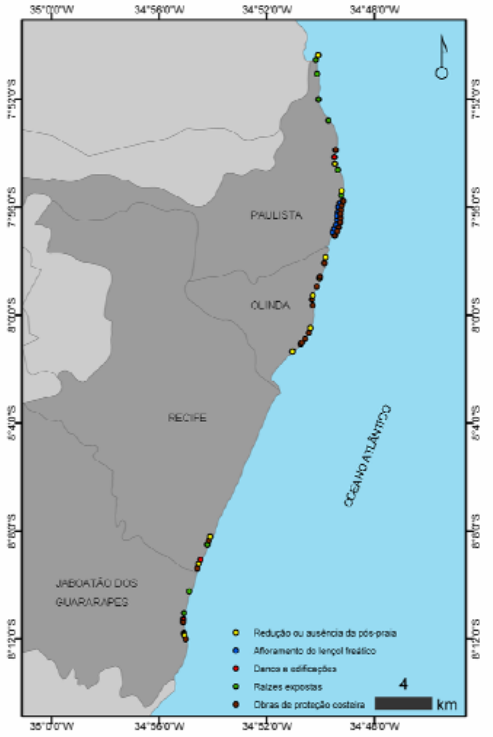


Figura 4: Distribuição dos indicadores de erosão na área de estudo.

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais

Tabela 1: Eventos e danos noticiados pelos jornais no período de 1998 a 2013.

Data	Praia	Município	Evento/Dano
31/03/1998	Janga	Paulista	Maré de 2,6m derrubou muros e destruiu três cômodos de uma casa de veraneio
05/02/2003	Janga	Paulista	Bares instalados na beira-mar amanheceram parcialmente destruídos pela maré alta
06/05/2004	Janga	Paulista	Um trabalhador foi soterrado por um trecho do calçadão recém-construído que cedeu devido à maré alta
27/05/2005	Janga	Paulista	Maré alta destruiu parte do calçadão e causou inundação nas proximidades
24/10/2007	Janga	Paulista	Prefeitura decretou estado de emergência após parte do calçadão ter sido destruído pela maré, que ameaça atingir edifícios na orla
09/08/2010	Pau Amarelo	Paulista	Maré alcançou 2,5m, atingindo bares na orla
30/06/2010	Não especificado	Paulista	A água subiu 2m e a Defesa Civil permaneceu de plantão na orla
10/08/2010	Janga e Boa Viagem	Paulista	A Defesa Civil trabalhou em regime de alerta para a maré alta prevista, de 2,1m
02/03/2010	Não especificado	Paulista	Paulista registrou a maior maré do ano
30/08/2011	Pau Amarelo	Paulista	Casas ficaram destruídas, estabelecimentos à beira-mar foram danificados, barcos de pesca foram arrastados e a água atravessou o muro de contenção, atingindo o calçadão
31/08/2004	Não especificado	Olinda	Maré alta provocou estragos na beira-mar de Olinda, com rachaduras em trechos da mureta de proteção
08/09/2006	Milagres	Olinda	Maré de ~2,5m atingiu casas localizadas na beira-mar e destruiu parte de um hotel, além de materiais de pesca
08/09/1998	Brasília Teimosa	Recife	Maré de 2,5m invadiu casas, assustando quatrocentas famílias moradoras de palafitas
12/08/2002	Pina	Recife	A Defesa Civil deslocou dez famílias das suas casas devido à maré de ~2,3m
03/08/2004	Boa Viagem	Recife	Maré alta derrubou um poste de iluminação e parte do calçadão, ameaçando um quiosque
04/05/2004	Brasília Teimosa	Recife	Maré de 2,3m atingiu 30 casas e destruiu eletrodomésticos
20/08/2007	Brasília Teimosa	Recife	Ondas associadas a fortes ventos atingiram 2,6m
17/09/2008	Boa Viagem	Recife	O calçadão de Boa Viagem foi parcialmente destruído
09/08/2010	Boa Viagem	Recife	Parte do muro de proteção localizado na Praça de Boa Viagem foi derrubado pela maré alta
19/08/2010	Boa Viagem	Recife	Dois pontos de erosão já existentes aumentaram, danificando parte do calçadão
13/08/2001	Candeias	Jaboatão dos Guararapes	Ondas chegaram a 1,7m de altura, derrubando uma estátua. O afundamento da pavimentação da beira-mar deixou uma vítima em estado grave - com traumatismo craniano. Os proprietários dos bares temem a diminuição do movimento.
14/03/2005	Piedade	Jaboatão dos Guararapes	As marés dos últimos dias provocaram inúmeros danos ao longo da orla
30/08/2007	Piedade	Jaboatão dos Guararapes	Maré alcançou 2,4m, destruindo uma barreira de sacos de areia e arrancando um coqueiro; o muro de um edifício desabou e duas piscinas foram danificadas
31/08/2008	Candeias	Jaboatão dos Guararapes	Parte de um muro de contenção desabou por causa da maré alta
31/08/2011	Piedade e Candeias	Jaboatão dos Guararapes	Foi decretada situação de emergência. A maré alta provocou alagamentos em prédios e casas além de danificar muro de contenção
08/08/2004	Boa Viagem, Candeias, Janga e Pau Amarelo	Recife, Jaboatão dos Guararapes e Paulista	Marés atingiram 2,2m, causando estragos na orla
23/08/2005	Diversas praias de Olinda e Candeias	Olinda e Jaboatão dos Guararapes	Maré alta destruiu bancos, obras de revitalização e calçadas na beira-mar de Olinda. Em Candeias, árvores e muros foram derrubados
15/08/2007	Não especificado	Jaboatão dos Guararapes e Paulista	Em Jaboatão dos Guararapes um prédio perdeu sua entrada principal. Em Paulista, diques postes caíram e uma parte do calçadão cedeu
31/08/2011	Não especificado	Jaboatão dos Guararapes, Recife e Paulista	Maré de 2,7m atingiu casas e estabelecimentos comerciais na orla dos três municípios, causando danos materiais

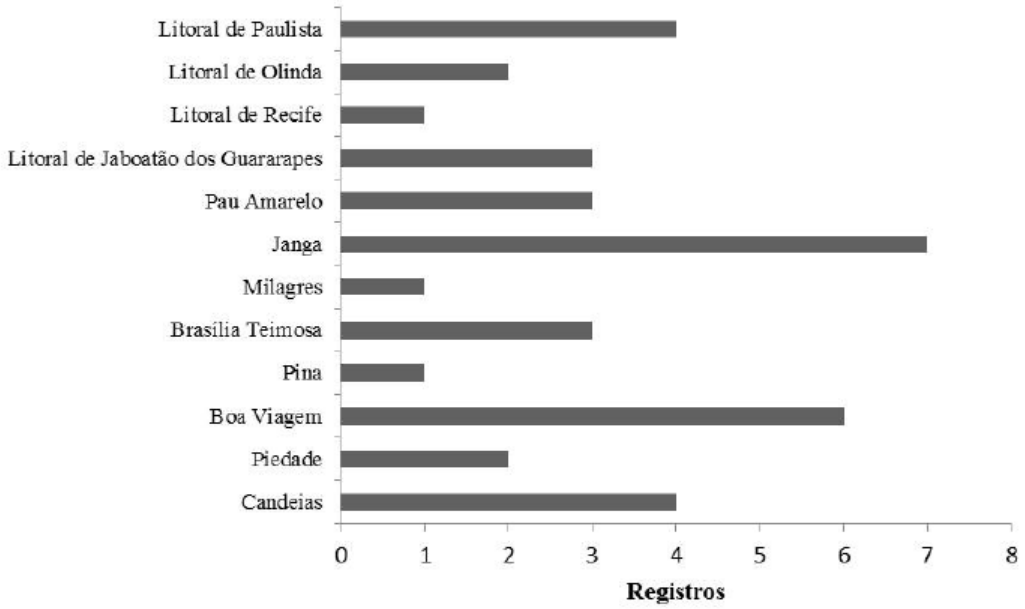


Figura 5: Número de registros de danos por praia ou por município (quando não especificada a praia).

Os segmentos que apresentaram médias de deslocamentos de linha de costa negativas para o período analisado compreenderam a Maria Farinha, Pau Amarelo e Enseadinha (Paulista); Rio Doce III, Rio Doce I, Casa Caiada II e Carmo (Olinda) e Piedade Sul (Jaboatão dos Guararapes). Embora esta análise aponte para os segmentos nos quais a erosão de médio-termo ocorre efetivamente, a mesma não tem grande significado ambiental se tomada isoladamente, uma vez que alguns segmentos nos quais se observa erosão não apresentam taxas de deslocamento negativo nesta escala temporal, como é o caso de Barra de Jangadas (Jaboatão dos Guararapes), por exemplo. Tal fato se deve, em parte, ao número de linhas de costa consideradas no estudo (apenas duas, datadas de 1974 e 2008), mas também é função do deslocamento da ocupação sobre o sistema praial, conforme abordado a seguir, no tópico *Zona de interesse e largura da pós-praia*. Cabe observar ainda que a metodologia adotada, embora apresente resultados eficientes e seja amplamente utilizada no estudo de inúmeras áreas costeiras, apresenta limitações. No presente estudo, tais limitações estão relacionadas especialmente à indisponibilidade de posições da linha de costa intermediárias (entre 1974 e 2008) e à possibilidade de variação da posição do indicador utilizado em função do regime de maré.

Curto-termo

Para esta escala temporal foi considerada a perda máxima do perfil, em percentual (figura 10), baseada na relação entre a média e o menor volume medido ao longo do período de monitoramento. Tal relação foi usada porque, embora numa praia natural seja comum a perda e recuperação de grande volume de sedimentos do perfil sem maiores impactos, nas praias urbanas da RMR se observa que o sistema não é resiliente diante de grandes perdas percentuais. Assim, tais perdas podem ser consideradas como episódios erosivos em curto-termo, uma vez que causam danos e transtornos imediatos aos moradores e autoridades.

Os resultados da análise estão de acordo com as análises supracitadas e apontam Paulista (PA) como o município cujas praias, além de apresentarem perfis com menores volumes, apresentaram maiores perdas em curto-termo. Cabe lembrar que grandes perdas podem estar associadas à grande variabilidade do perfil, sendo compensadas por ganhos igualmente elevados, como observado no perfil PA1 (Praia de Enseadinha), com a maior perda percentual (cerca de -45% do volume médio do perfil).

No município de Olinda, os perfis apresentaram comportamento predominantemente estável durante o período de monitoramento, com baixa variação volumétrica (entre 2,6 e 17,9%). Tal comportamento pode estar associado à presença de obras de proteção costeira, que atuam não apenas estabilizando, mas em muitos casos, imobilizando a linha de costa. Em Recife e Jaboatão dos Guararapes não foram observadas grandes variações negativas, à exceção do perfil PJ3, que apresentou uma perda percentual de cerca de 37,1% do volume do perfil.

Assim como para os fatores envolvidos na erosão de médio-termo, na área de estudo ainda não é bem conhecido o que causa a erosão de curto-termo. Alguns autores apontam para a relação entre a intensidade e direção dos ventos e a redução do volume de perfil (Costa *et al.* 2008). Pereira (1998) menciona que

quando marés equinociais coincidem com marés de sizígia, as mesmas podem atingir alturas próximas a 2,8m e, quando o mesmo ocorre simultaneamente a ventos intensos, comuns durante os meses de inverno, pode resultar em erosão severa. Tais eventos causam perdas episódicas ou sazonais que podem ser recuperadas após o restabelecimento das condições energéticas normais, não influenciando, assim, no deslocamento da linha de costa de médio-termo.

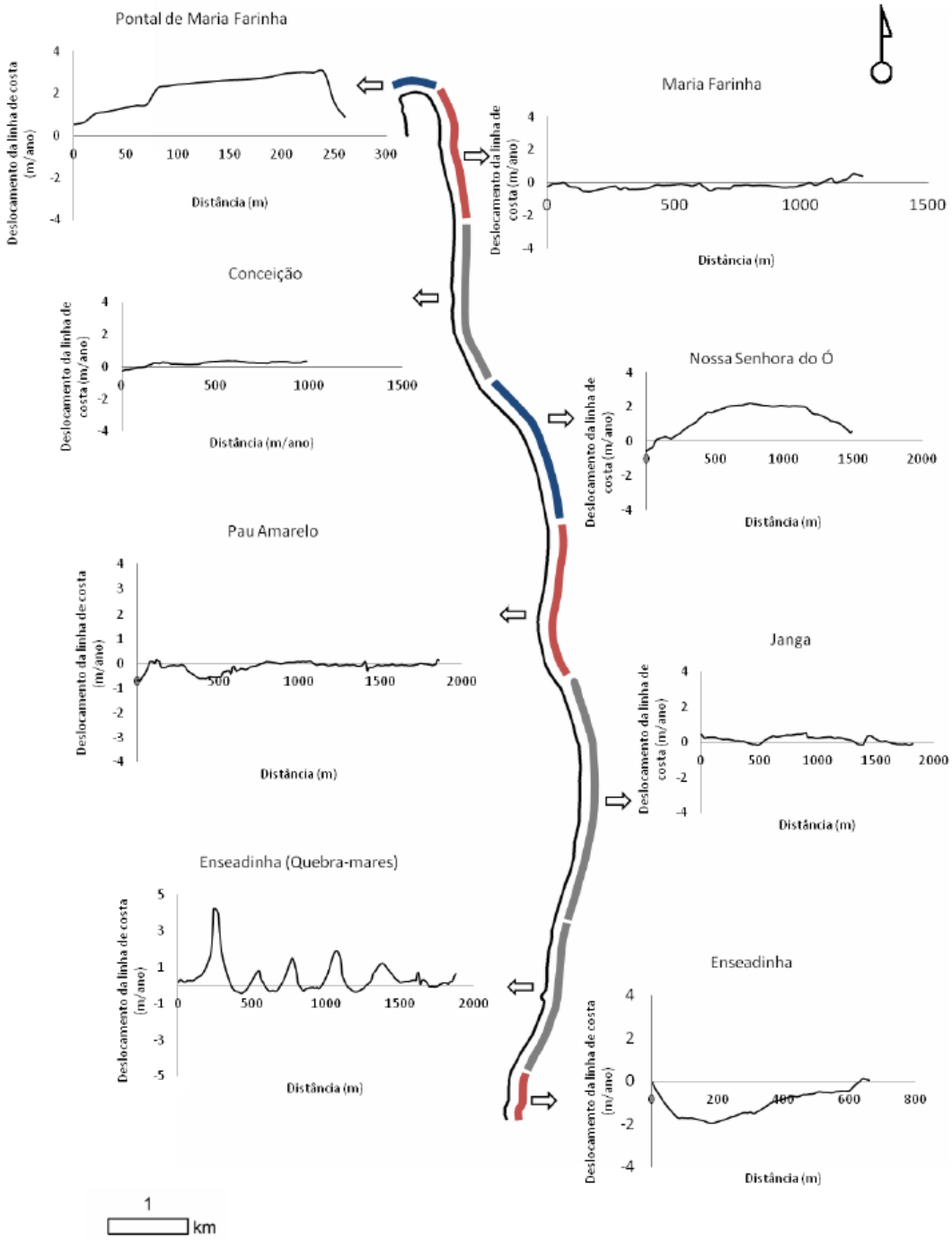


Figura 6: Análise do deslocamento de linha de costa para as praias de Paulista. As cores indicam comportamentos predominantes de progradação (azul), estabilidade ou variação ao longo do segmento (cinza) ou erosão (vermelho).

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais

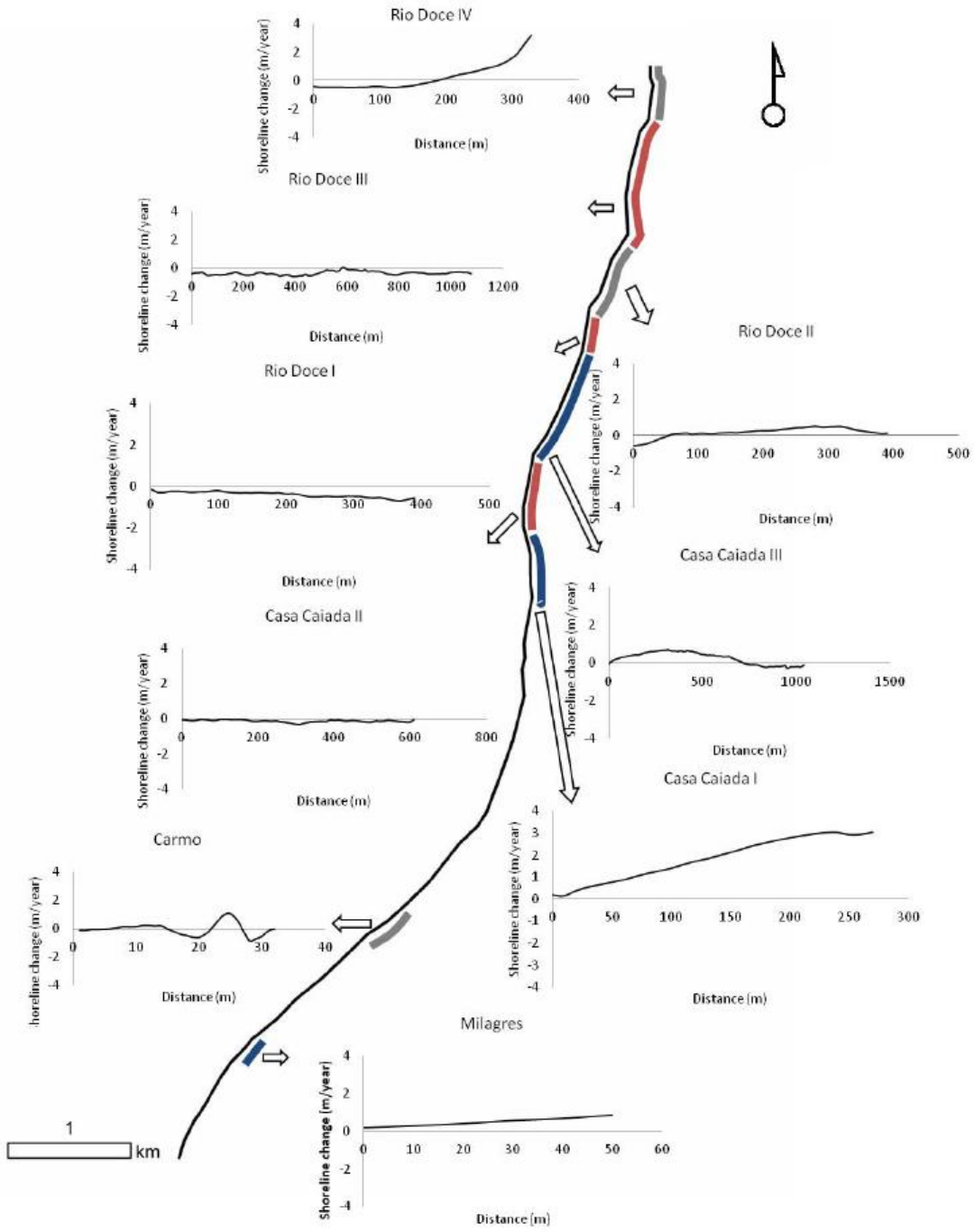


Figura 7: Análise do deslocamento de linha de costa para as praias de Olinda. . As cores indicam comportamentos predominantes de progradação (azul), estabilidade ou variação ao longo do segmento (cinza) ou erosão (vermelho).

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

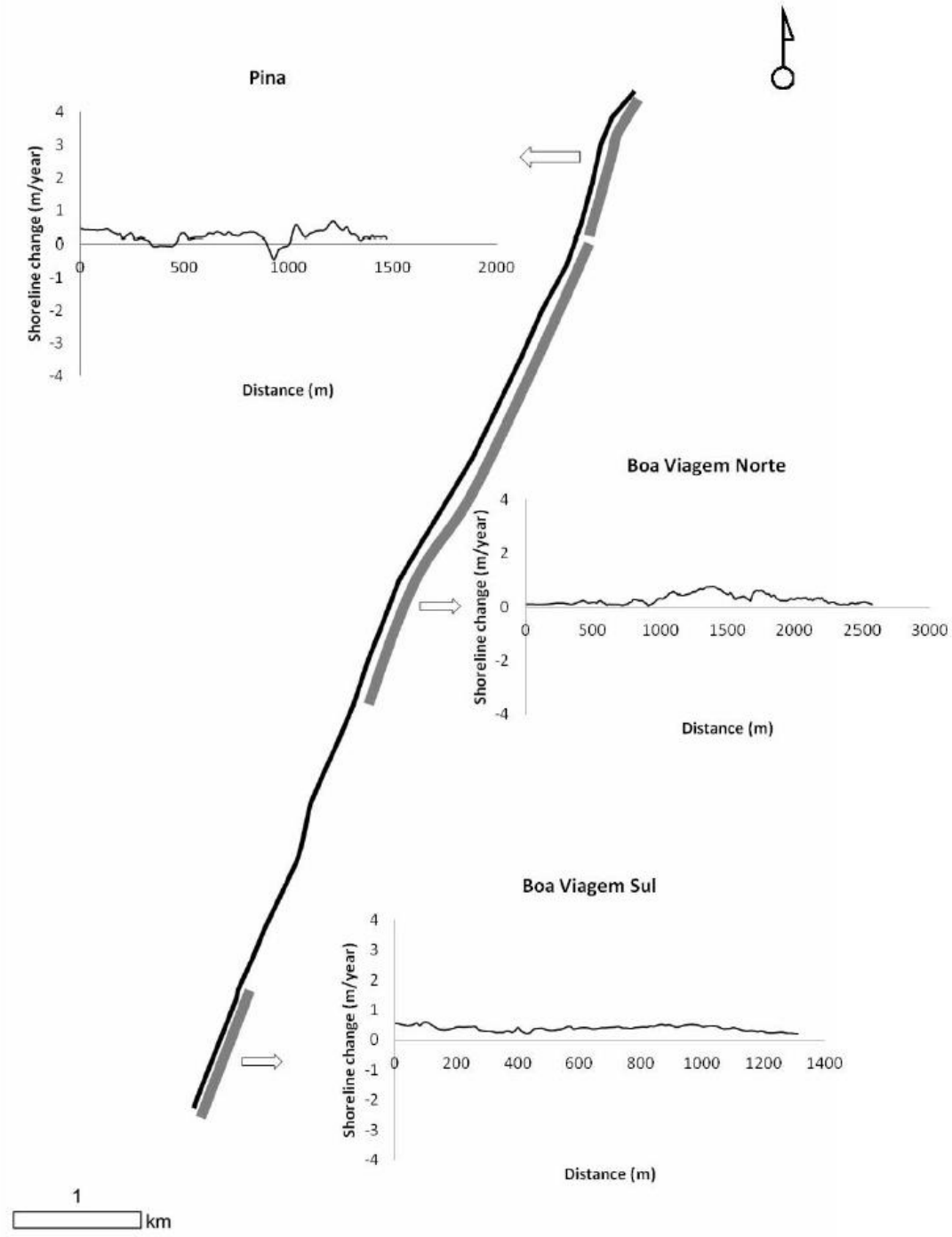


Figura 8: Análise do deslocamento de linha de costa para as praias de Recife. Setor não analisado se refere ao Enrocamento de Boa Viagem. As cores indicam comportamentos predominantes de progradação (azul), estabilidade ou variação ao longo do segmento (cinza) ou erosão (vermelho).

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

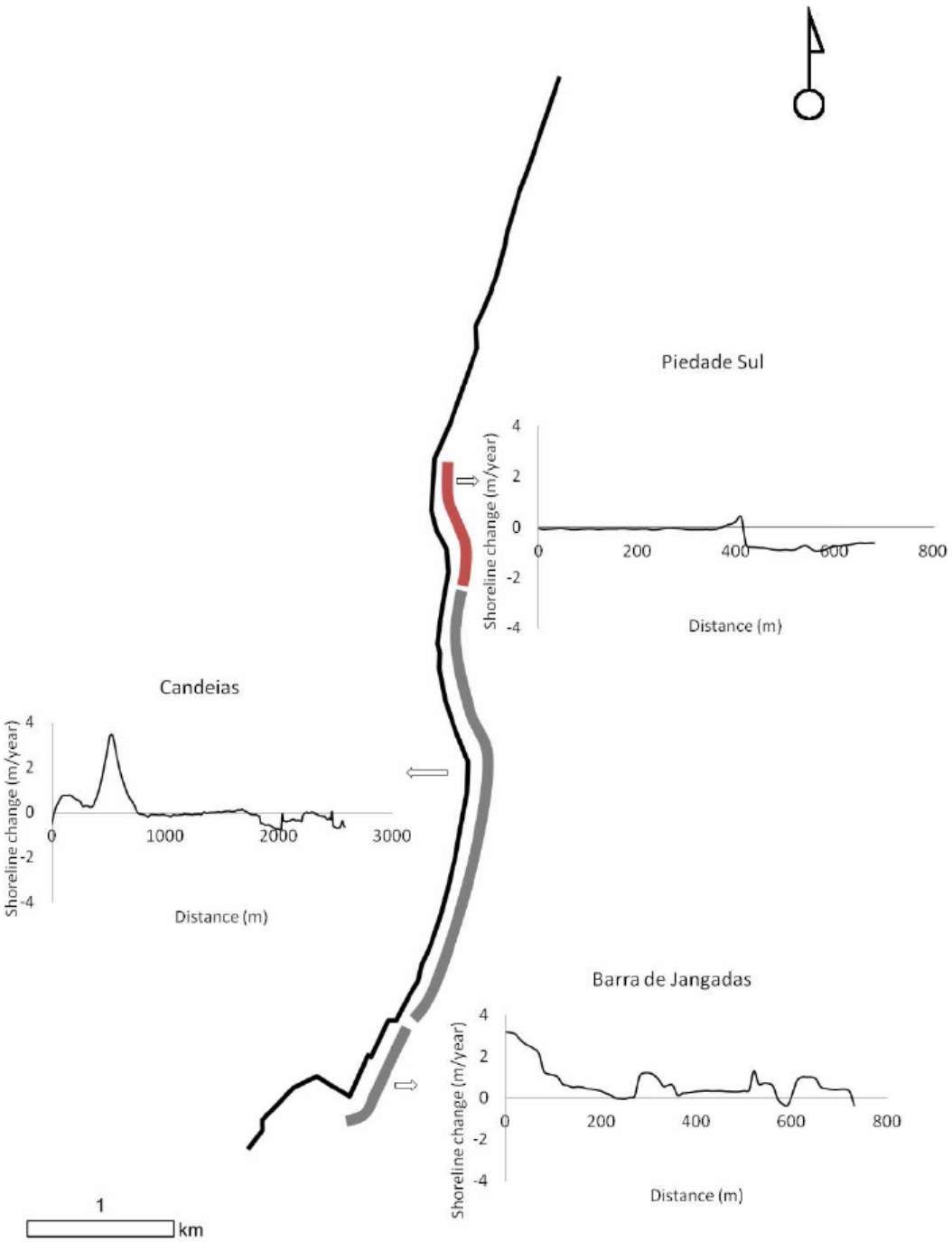


Figura 9: Análise do deslocamento de linha de costa para as praias de Jaboatão dos Guararapes. As cores indicam comportamentos predominantes de progradação (azul), estabilidade ou variação ao longo do segmento (cinza) ou erosão (vermelho).

Visando compreender a relação entre a evolução de médio e curto-termo, foi feita uma análise combinada entre os valores encontrados para cada segmento em ambas as escalas temporais, conforme figura 11. Os resultados da análise revelam que a maioria das praias contempladas pelo estudo apresenta comportamentos distintos para as escalas analisadas (PA6 – Nossa Senhora do Ó, PO2 - Carmo, PO9 – Rio Doce e PJ1 - Candeias) ou pequenas variações em curto-termo (menos de -16%, a variação média observada) e

deslocamento de linha de costa positivo (PA2 - Janga, PA7 - Conceição, PO1 – Milagres, PO6 – Casa Caiada, PO8 – Rio Doce, PR1 – Boa Viagem, PR5 – Pina e PJ3 – Piedade). Apenas duas das praias monitoradas apresentaram comportamento erosivo em ambas as escalas temporais, PA1- Enseadinha e PA4 – Pau Amarelo, localizadas em Paulista, confirmando a situação crítica do litoral deste município.

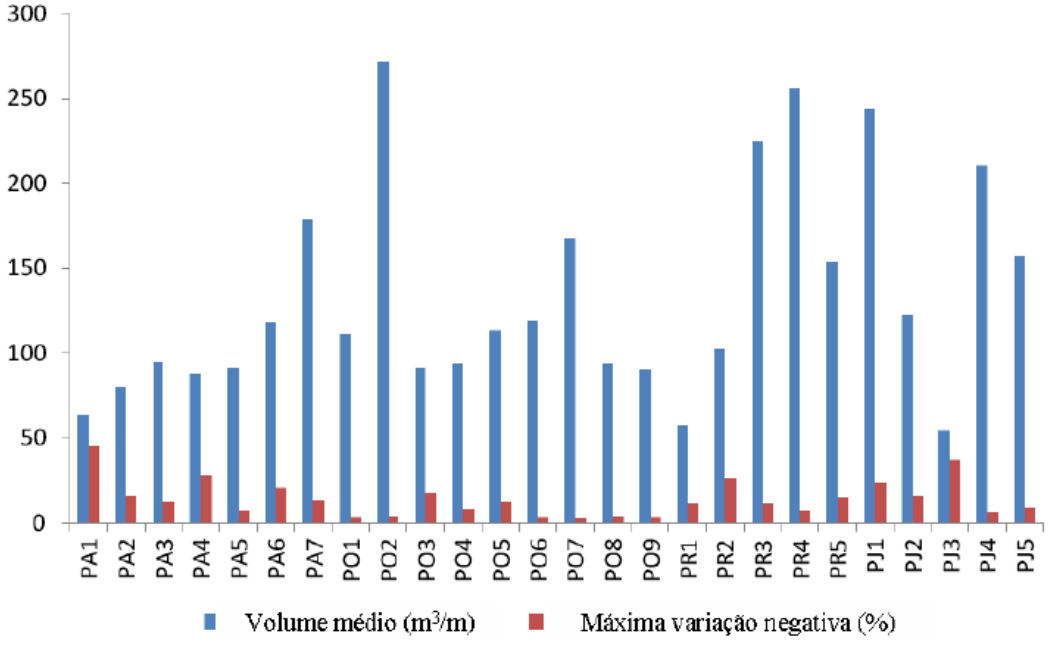


Figura 10: Volume médio dos perfis e perda máxima em percentual.

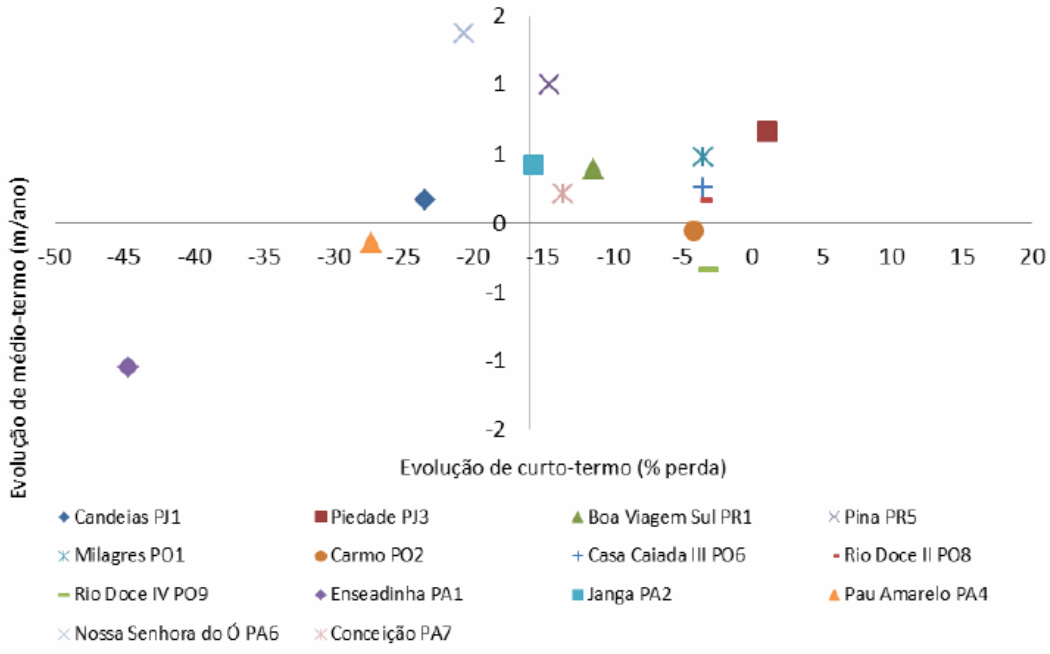


Figura 11: Relação entre evolução de curto e médio-termos.

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

Zona de interesse e largura da pós-praia

Embora muitos segmentos apresentem valores positivos de deslocamento de linha de costa, é importante destacar que em alguns pontos, a erosão é noticiada e a supressão da pós-praia ocorre, conforme abordado anteriormente no item *Indicadores*. Assim, as análises que seguem mostram a largura média da pós-praia nos segmentos (figura 12) e um comparativo entre as taxas de deslocamento da linha de costa e da zona de interesse (figura 13).

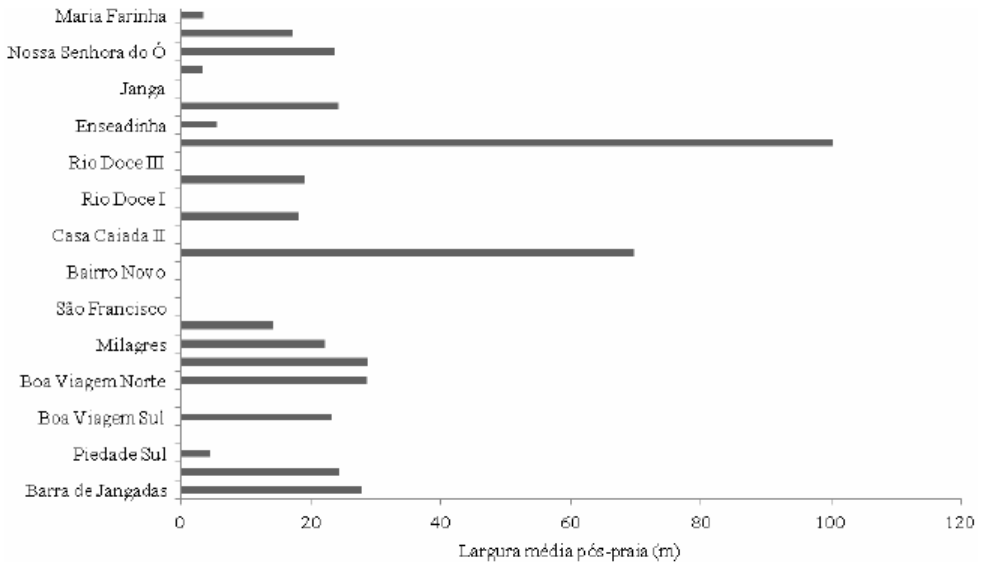


Figura 12: Largura da pós-praia na área de estudo.

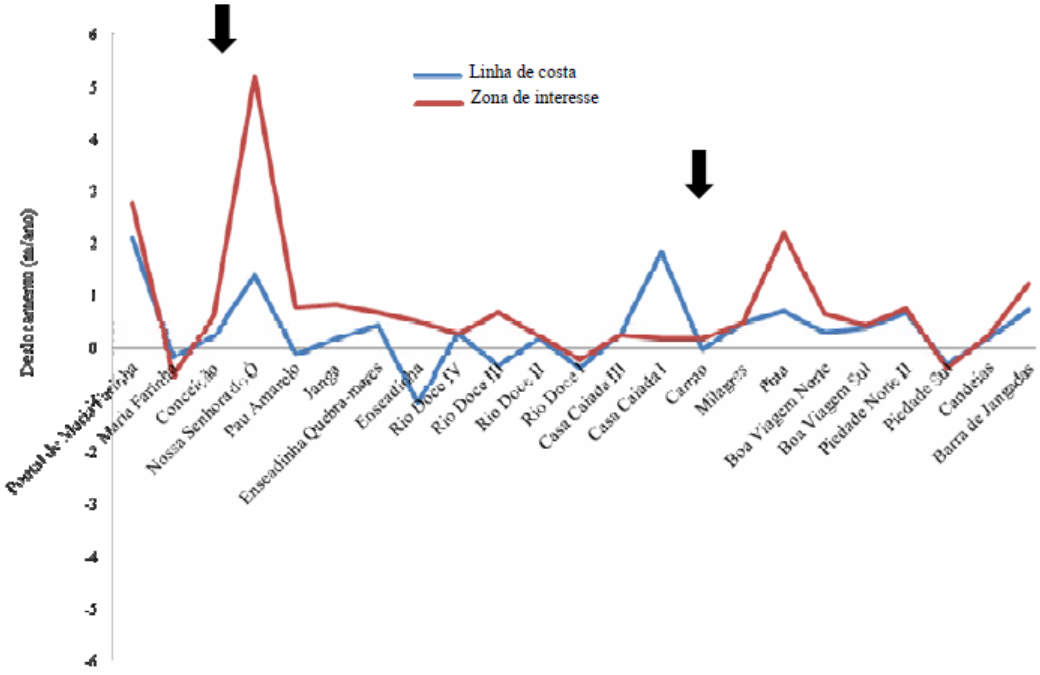


Figura 13: Taxas de deslocamento da linha de costa e da zona de interesse. Setas apontam os segmentos de Nossa Senhora do Ó e Pina, os quais se destacam pelo avanço da ocupação sobre o sistema praial.

Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(2):137-154

A largura média observada para a pós-praia nos segmentos foi de 25m. A largura máxima, 100,4m foi medida na Praia de Rio Doce (segmento IV), numa área sob influência dos molhes do Rio Paratibe e de um quebra-mar. Oito segmentos costeiros da área de estudo não apresentam pós-praia, incluindo Janga, Rio Doce III, Rio Doce I, Casa caiada I, Bairro Novo, Boa Viagem (enrocamento) e parte de Piedade (norte), além das praias do Farol e São Francisco, em Olinda, que não foram contempladas neste estudo porque há décadas não apresentam os setores da pós-praia e da praia. Tais observações estão de acordo com Manso *et al.* (2006b) que mencionam a redução da largura da pós-praia como uma realidade para diversas praias da RMR.

Os valores mínimos e máximos calculados para o deslocamento da zona de interesse foram, respectivamente, 0,35 e 1,35m/ano em Paulista; 0,23 e 0,25m/ano em Olinda; 0,38 e 1,09m/ano em Recife e 0,31 e 0,44m/ano em Jaboatão dos Guararapes. No que se refere à relação entre as taxas de deslocamento de linha de costa e da zona de interesse, os casos mais interessantes ocorrem nas praias de Nossa Senhora do Ó (Paulista), onde a segunda é muito maior do que a primeira (1,37 e 5,19m/ano, respectivamente) e Pina (Recife, que apresentou os valores de 0,69 e 2,19m/ano) (indicados por setas no gráfico anterior). Nestes casos, apesar da suposta progradação indicada pelas taxas de deslocamento de linha de costa, há uma tendência à redução/supressão da pós-praia. Mesmo em segmentos nos quais foi observada retração da linha de costa, como é o caso de Enseadinha (-0,34m/ano) e Rio Doce III (0,67m/ano), é possível observar um avanço da ocupação sobre o sistema praial, da ordem de 0,51 e 0,67m/ano, respectivamente.

Dentre as causas que contribuem para o processo erosivo, a interferência antrópica, embora não seja a única, é a mais atuante na medida que acelera o referido processo, não oferecendo condições para as variáveis naturais entrarem em equilíbrio (Manso *et al.* 2006b). Nas praias analisadas, é possível observar um forte controle antrópico sobre o processo erosivo. A este respeito, duas observações são pertinentes: (i) a ocorrência de praias sem pós-praia ou com pós-praia estreita, que não proveem o espaço suficiente para o desenvolvimento dos processos costeiros; (ii) a existência de praias nas quais a ocupação avança sobre a praia a taxas superiores àquelas que permitem a adaptação do sistema praial, culminando na redução/supressão de setores do mesmo.

De acordo com Muehe (2011), as praias arenosas são caracterizadas por sua resiliência a eventos extremos, se ajustando em perfil e em planta ao transporte de sedimentos. Tal adaptabilidade, no entanto, é condicionada pela disponibilidade de sedimentos e de espaço para que os processos costeiros se desenvolvam. A magnitude das consequências de eventos de alta energia sobre praias depende do grau de intervenção humana na área, visto que esta restringe a capacidade de resposta das praias (Merlotto *et al.* 2014). No âmbito do Projeto EUROSION, "resiliência costeira" é definida como "habilidade inerente da costa para acomodar mudanças induzidas pela elevação do nível do mar, eventos extremos e, ocasionalmente, impactos humanos, mantendo as funções desempenhadas pelo sistema costeiro, a longo prazo". Construções permanentes próximas ao mar contribuem para a diminuição desta resiliência (*European Commission* 2004) e representam a situação, observada na área de estudo, apontando para a importância do conceito supracitado, uma vez que a maior parte das praias contempladas por este estudo não possui espaço suficiente para responder às forçantes costeiras sem que haja danos às propriedades e perda de áreas.

Conclusões

Entre as áreas estudadas, o litoral de Paulista apresenta a maior criticidade no que se refere ao processo erosivo, que é relativamente recente e mais intenso junto à Praia de Pau Amarelo. Em Olinda, a erosão pode ser considerada histórica e generalizada ao longo do litoral. As praias do Município atualmente refletem uma estabilidade decorrente da presença massiva de obras de engenharia costeira, com impactos às adjacências. Em Recife, todas as análises apontam para um processo mais pontual, cujos registros mais antigos datam da década de 90. Embora pontual, o processo tem se estendido para norte em decorrência da construção de um enrocamento, que tem sido aumentado ao longo dos anos. Finalmente, em Jaboatão dos Guararapes, o processo ocorre em diversos pontos e parece ter relação com as obras de contenção do processo erosivo.

O estudo da evolução de médio-termo revelou que a linha de costa na RMR se comporta, para o período analisado, de maneira predominantemente estável, à exceção de alguns segmentos (Maria Farinha, Pau Amarelo, Enseadinha, Rio Doce III, Rio Doce I, Casa Caiada II, Carmo – extremidades - e Piedade Sul). Por outro lado, a aparente redução da pós-praia pôde ser confirmada pela análise combinada do deslocamento de linha de costa com o deslocamento da zona de interesse. Em curto-termo, a análise evidenciou que algumas praias são mais propensas à erosão, notavelmente as praias de Enseadinha, Pau Amarelo, Nossa Senhora do Ó (Paulista) e Candeias (Jaboatão dos Guararapes), estando parcialmente de acordo com os registros dos jornais.

Embora os propósitos do estudo e a metodologia adotada não tenham permitido identificar as causas do processo erosivo, foi possível evidenciar uma componente antrópica importante para o desencadeamento e a intensificação da erosão na área. Tais evidências, no entanto, não esgotam o conhecimento acerca dos fatores que contribuem para a manutenção do processo, endossando a necessidade de estudos que envolvam a análise de séries de parâmetros meteoceanográficos no intuito de melhor explicá-lo e de identificar os fatores naturais envolvidos.

Os dados provenientes de perfis de praia e de análises de deslocamento da linha de costa se mostraram úteis na tentativa de compreender a evolução costeira da RMR. A melhor compreensão, entretanto, depende de estudos mais intensivos, com maior número de anos considerados, particularmente no que se refere às análises da ordem de anos/décadas.

Os resultados do estudo apontam para a necessidade de se considerar a variabilidade espaço-temporal das praias da RMR antes de qualquer intervenção que venha a ser feita. Ademais, demonstram a importância de se desenvolver programas ou ações de manejo costeiro que preconizem a manutenção/restauração dos setores do sistema praial, uma das principais demandas ambientais atuais na região. Tais ações permitiriam às praias um aumento da resiliência e da capacidade de atuar como zona de amortecimento para a energia imposta por ondas e marés, tendo importantes reflexos na proteção da costa e permitindo que, ainda diante das variações de curto-termo experimentadas pelas praias, sua integridade fosse mantida em médio-termo.

Referências

Anfuso G., Dominguez L., Gracia F.J. 2007. Short and medium-term evolution of a coastal sector in Cadiz, SW Spain. Catena, 70: 229–242.

Araújo R.C.B. 2007. As praias e os dias: história social das praias de Olinda e do Recife. Fundação de Cultura Cidade do Recife, Recife, 547p.

Brasil. 2002. Projeto Orla: Fundamentos para Gestão Integrada. Secretaria de Qualidade nos Assentamentos Humanos, Brasília, 78p.

Costa J.E.R. 2002. Morfodinâmica praial do município de Paulista-PE. Monografia de Especialização em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco.

Costa M.B.S.F., Pontes P.M., Araujo T.C.M. 2008. Monitoramento da Linha de Preamar das Praias de Olinda - PE (Brasil) como Ferramenta à Gestão Costeira. Revista da Gestão Costeira Integrada, 8: 101-112.

Costa M.T.S.P., Oliveira N.M.G.A. 2009. Avaliação geoambiental da zona costeira do bairro de Candeias, Pernambuco. Mercator, 8(17): 163-179.

Costa M.B.S.F., Mallmann D.L.B., Pontes P. M., Araujo, M. 2010. Vulnerability and impacts related to the sea level rising in the Metropolitan Center of Recife, Brazil. Pan-American Journal of Aquatic Sciences, 5: 341-349.

Développement Durable des Zones Côtières Européennes - Deduce Project. 2014. Indicators Guidelines to adopt an indicators-based approach to evaluate coastal sustainable development. 97p. Disponível em: <http://www.im.gda.pl/images/ksiazki/2007_indicators_guidelines.pdf> Acesso em:10 fevereiro 2014.

Del Río J.L., Lopez de Armentia A.M., Álvarez J.R., Ferro G., Bó M.J., Martínez Arca J., Camino M.A. 2007. Shoreline retreat at the Gulf San Matías, Argentina. Thalassas, 23:43–51.

Duarte R.X. 2002. Caracterização Morfo-sedimentológica e evolução de curto e médio prazo das praias do Pina, Boa Viagem e Piedade, Recife/Jaboatão dos Guararapes-PE. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Geociências, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 141p.

Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). 2009. ArcGIS. Professional GIS for desktop, versão 9.2. CA.

Esteves L.S., Williams J.J., Dillenburg S.R. 2006. Seasonal and interannual influences on the patterns of shoreline changes in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. Journal of Coastal Research, 22:1076–1093.

European Commission. 2004. Living with Coastal Erosion in Europe – Sediment and Space for Sustainability. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 40 p.

Financiadora de Estudos e Projetos/Universidade Federal de Pernambuco - FINEP/UFPE. 2009. Monitoramento Ambiental Integrado – MAI-PE. Relatório Final – Vols. 1, 2 e 3, Recife, 485p.

Fisner M. 2008. Percepção dos Usuários sobre os Efeitos das Obras de Proteção de Costa nas Praias de Casa Caiada (Olinda) e Janga (Paulista). Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 133p.

Gregório M.N. 2010. Evolução da Linha de Costa e Caracterização da Plataforma Continental Interna Adjacente à Cidade do Recife – PE. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Oceanografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 173p.

Gregório M.N., Araújo T.C.M. 2008. Interannual Morphological Changes of Boa Viagem Beach - Northeast Coast of Brazil. Boletim Paranaense de Geociências, 62:61-84.

Harari J., França C.A.S., Camargo R. 2008. Variabilidade de longo termo de componentes de maré e do nível médio do mar na costa brasileira. Disponível em: http://www.mares.io.usp.br/aagn/aagn11/ressimgf_versao2008.pdf> Acesso em: 15 maio 2013.

Jimenez J.A., Sancho-Garcia A., Bosom E., Valdemoro H. I., Guillén J. 2012. Storm-induced damages along the Catalan coast (NW Mediterranean) during the period 1958–2008. Geomorphology, 143-144: 24-33.

Manso V.A.V., Toldo Jr. E., Medeiros C., Almeida L.E.S.B. 2006a. Perfil praial de equilíbrio da praia de Serinhaém, Pernambuco. Revista Brasileira de Geomorfologia, Uberlândia, 2(1):45- 49.

Manso V.A.V., Coutinho P.N., Guerra N.C., Soares J.R. 2006b. In: Pernambuco. Muehe D. (ed.) Erosão e progradação do litoral brasileiro. Ministério do Meio Ambiente Brasília, 179-196p.

Merlotto A., Bertola G.R., Isla F.I., Cortizo L.C., Piccolo M.C. 2014. Short and medium-term coastal evolution of Necochea Municipality, Buenos Aires province, Argentina. Environmental Earth Science, 71:1213–1225.

Muehe D. 2010. Mudança do clima e efeitos possíveis sobre as praias. Anais da 62ª Reunião Anual da SBPC, Natal, RN. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/62ra/simposios/ SI%20Dieter_Muehe.pdf>. Acesso em: 09 agosto 2013.

Neves F.N., Muehe D. 1995. Potential impacts of sea level-rise on the Metropolitan Region of Recife, Brazil. Journal of Coastal Research, SI 14: 116-131.

Pedrosa F.J.A. 2007. Aspectos da Evolução da Linha de Costa e da Paisagem Litorânea do Município de Olinda entre 1915 e 2004: Evidências do Tecnógeno em Pernambuco. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Geociências, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 175p.

Pereira L.C.C., Coutinho P.N., Macêdo S.J., Costa R.A.A.M. 1996. Efeitos de estruturas de proteção costeira nas praias de Casa Caiada e Rio Doce-PE, Brasil. Trabalhos Oceanográficos, 24:19-37.

Pereira L.C.C. 1998. Hidrodinâmica e sedimentologia da praia de Casa Caiada-PE, Brasil. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 154p.

Pereira L.C.C., Jiménez J.A., Costa R.M.A., Medeiros C. 2003. The influence of the environmental status of Casa Caiada and Rio Doce beaches (NE-Brazil) on beaches users. Ocean & Coastal Management, 46: 1011-1030.

Pilkey O.H., Cooper A. 2004. Society and sea level rise. Science, 303:1781-1782.

Pontes P.M. 2008. Morfologia e Sedimentologia das Praias do Litoral Sul do Município de Olinda – PE. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 119p.

Ramstorf S. 2007. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. Science, 315: 368-370.

Rollnic M. 2002. Hidrologia, Clima de Onda e Transporte Advectivo na Zona Costeira de Boa Viagem, Piedade e Candeias – PE. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 111p.

Rudorff F.M., Bonetti J. 2010. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, 14: 9-20.

Santos U.S.T. 2008. Avaliação Geoambiental das Praias do Município de Jaboatão dos Guararapes, Região Metropolitana do Recife. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, 125p.

Souza C.R.G. 2001. Coastal erosion risk assessment, shoreline retreat rates and causes of coastal erosion along the State of São Paulo coast, Brazil. Revista Pesquisas em Geociências, 28(2): 459-474.

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. 2005. Monitoramento Ambiental Integrado – Avaliação dos Processos de Erosão Costeira nos Municípios de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes. Projeto de Pesquisa, 27p.

Recebido 27 de março de 2014
Aceito 20 de outubro de 2014