Revista da ANPEGE. v. 17. nº. 33, p. 146 - 161, ANO 2021. e-ISSN: 1679-768X
https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege. // DOI 10.5418 / ra2021.v17i33.11879

ESCALAS INTERDECADAL E INTERANUAL NA AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DA LINHA DE COSTA:
Um estudo de caso nas praias de Rio das Ostras (RJ)

INTERDECADAL AND INTERANNUAL SCALES IN THE ASSESSMENT OF SHORELINE DYNAMICS:
A case of study of the beaches of Rio das Ostras (RJ)

ESCALAS INTERDECADAL Y INTERANUAL EN LA EVALUCIÓN DE LA DINÁMICA DE LA LÍNEA DE COSTA:
Un caso de estudio de las playas del Rio de Ostras (RJ)

Thaís Baptista da Rocha | Bianca Lima Magalhães | Guilherme Borges Fernandez

RESUMO

O objetivo do artigo é avaliar a relação entre as escalas interdecadal e interanual na análise da dinâmica da linha de costa, a partir de exemplos em dois arcos de praia, no município de Rio das Ostras (RJ), no período entre 1976-2017. Para uma avaliação interdecadal, foram utilizadas fotografias aéreas e Ortofotos (1976-2017); e para a avaliação interanual foram utilizados perfis de praia (2005-2017). Na praia da Tartaruga, foi identificado um processo de erosão costeira contínuo no tempo (cerca de 1,0 m/ano), embora os eventos de tempestade na última década possam ter incrementado o processo. Na praia de Costa Azul, o recuo da linha de costa, identificado somente no período entre 2005-2017, indica que a erosão costeira teve um caráter episódico decorrente de eventos de tempestade. Conclui-se que, a fim de se evitar intepretações equivocadas da dinâmica da linha de costa, deve-se analisar os processos considerando as diferentes escalas temporais de análise, de preferência, consorciando perfis de praia e imagens.

Palavras-chave: Erosão costeira, eventos de tempestade, praias arenosas

ABSTRACT

The aim of this paper is to assess the relationship between the interdecadal and interannual scales in the analysis of the shoreline, from examples on Rio das Ostras beaches. In the Tartaruga beach, there is a continuous coastal erosion process, between 1976 to the present. We use aerial photographs, orthophoto, GPS (1976-2017); and beach profiles (2005 – 2017). Over the last decade, there has been an increase in the retreat a rate (about 1.0 m/year) which may be associated with an increase in the frequency and/or magnitude of storm events. At Costa Azul beach, there was a shoreline retreat only between 2005-2017. The beach profiles indicated the recent recovered beach; therefore, the coastal erosion was associated with storm events. To avoid misinterpretations of the shoreline behavior, the results should be analyzed considering the different time scales, if possible, combining beach profiles and images.

Keywords: Coastal erosion, storm events, sandy beachs

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar la relación entre las escalas interdecadal e interanual en el análisis de la línea de costa, con ejemplos en las playas de Rio das Ostras. En la playa de Tartaruga, hay un proceso continuo de erosión costera, desde 1976 hasta el presente. Utilizamos fotografías aéreas, ortofoto, GPS (1976-2017); y perfiles de playa (2005 - 2017). Durante la última década, ha habido un aumento en la tasa de retroceso (aproximadamente 1.0 m/año) que puede estar asociado con un aumento en la frecuencia y/o magnitud de las tormentas. En la playa de Costa Azul, ocurrió un retroceso en la línea de costa solo entre 2005-2017. Los perfiles de playa mostraron la playa recuperada recientemente, por lo tanto, la erosión costera se asoció con eventos de tormenta. Para evitar interpretaciones erróneas del comportamiento de la línea de costa, los resultados deben analizarse considerando las diferentes escalas de tiempo, si es posible, combinando perfiles de playa y imágenes.

Palabras clave: Erosión costera, tormentas, playas arenosas

Introdução

As praias arenosas são ambientes dinâmicos que estão em constante mudança por uma série de processos, tais como a alternância na energia das ondas, transporte litorâneo, oscilação das marés, variação do nível do mar, além de fatores antrópicos (SHORT, 1999; SOUZA et al., 2005). Esses processos podem alterar o balanço sedimentar, refletindo em alterações na entrada e na saída de sedimentos do sistema praial (SOUZA et al., 2005). Nesse sentido, podem condicionar processos de erosão costeira ou acreção em diferentes escalas temporais, como a intersecular, a interdecadal e a interanual (STIVE et al., 2002).

A linha de costa é uma feição sensível a essas mudanças, respondendo à alteração no balanço sedimentar do ambiente praial, o que acaba lhe conferindo um papel de destaque nos estudos sobre erosão e acreção em áreas costeiras, sobretudo, quando associada às discussões mais recentes sobre as projeções de aumento do nível do mar global previstos para até esse fim do século. Em linhas gerais, a definição mais comum é dada por Boak e Turner (2005), onde linha de costa é definida pela interseção entre o mar e o continente. Embora pareça simples, essa definição traz alguns desafios perante a prática do mapeamento da linha de costa, uma vez que essa "linha de interseção" sofre diariamente com a influência de agentes oceanográficos, como ondas e marés.

Nesse sentido, o mapeamento da linha de costa vai depender de fatores como: materiais disponíveis; escala temporal de análise; métodos de extração da linha de costa; bem como a escolha do indicador de linha de costa (BOAK e TURNER, 2005). Com o avanço das técnicas de sensoriamento remoto, a análise multitemporal através de imagens de satélite e fotografias aéreas tem sido um dos principais métodos de detecção de linha de costa. Recentemente, o desenvolvimento do Digital Shoreline Alnalisys System (DSAS), uma extensão do ArcGIs 10.4, tem permitido a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa da evolução da linha de costa (THIELER et al., 2008).

Recentemente, Luijendijk et al. (2018) avaliaram o comportamento da linha de costa na escala global, a partir de técnicas de sensoriamento remoto, entre o período de 1984 e 2016. Os autores identificaram que cerca de 24% das praias arenosas apresentaram comportamento de erosão costeira, com taxas superiores à -0,5 m/ano; enquanto 28% apresentaram comportamento de acreção; e 48%, estariam estáveis. Estes valores variam de acordo com outros trabalhos, como o de Bird (1985) que estimou que 70% das linhas de costa do mundo estariam em processo de erosão costeira. As discrepâncias entre os resultados pode ser função da utilização de diferentes metodologias, de escalas espaço-temporais de análise e, principalmente, sobre até que ponto os processos de erosão costeira são efetivamente um processo contínuo ou um evento decorrente de eventos de tempestade.

De acordo com Stive et al. (2002), a resposta passa pela avaliação da linha de costa em múltiplas escalas espaço-temporais. Segundo o autor, o significado da dinâmica da linha de costa pode ser avaliado em até quatro escalas: o Holocene Tardio; intersecular; interdecadal; e interanual/sazonal. A variabilidade compreendida na escala do Holoceno Tardio tem o alcance temporal de milênios há séculos e alcance espacial de aproximadamente 100 km ou mais. Na escala intersecular, a variabilidade pode ser avaliada entre séculos e décadas, abrangendo entre 10 a 100 km de linha de costa. Por sua vez, nas escalas interdecadal e interanual, essa avaliação pode ocorrer entre décadas, anos, meses e até algumas horas, podendo chegar a uma abrangência especial de até alguns metros.

Na escala interanual/sazonal, a dinâmica da linha de costa pode ser influenciada por dois fatores: a mobilidade associada à morfidinâmica de praia e a ocorrência de eventos de tempestade. Nas escalas intersecular e interdecadal, também conhecida como escala histórica, as alterações da linha de costa tendem a ser reflexos dos processos que ocorrem na escala de eventos, podendo também responder a mecanismos associados à escala geológica, configurando-se como uma escala de interseção entre elas (STIVE et al. 2002). Nesse sentido, uma avaliação histórica da linha de costa deve ser criteriosa, sobretudo quando são utilizadas fotografias aéreas e imagens de satélite, até porque, normalmente,

são essas avaliações que tendem a ser utilizadas no gerenciamento de riscos, no âmbito das políticas públicas (ROCHA e FERNANDEZ, no prelo).

Sobre essa problemática, surgem importantes questões: "qual o significado de uma linha de costa cujo comportamento seja identificado como de recuo? É um fenômeno contínuo no tempo ou é um fenômeno episódico, em função de eventos de ondas de tempestade?". Essa resposta pode depender das escalas de análise e dos materiais que serão utilizados. Nesse sentido, o objetivo do presente artigo é avaliar essas questões a partir da análise da dinâmica da linha de costa em dois arcos de praia localizados no município de Rio das Ostras, que abarcam as praias da Tartaruga, Abricó e Costa Azul. A escolha dessa área se deve ao fato de existirem pontos de monitoramento de perfis de praia desde o ano de 2007, realizados pelo Laboratório de Geografia Física (LAGEF) da UFF. Além disso, esse litoral tem sido frequentemente avaliado com relação aos efeitos de tempestade (BULHÕES et al., 2010; FERNANDEZ et al. 2011; OLIVEIRA-FILHO, et al. 2016), bem como com relação à erosão costeira na praia da Tartaruga (CASTRO et al., 2011; MUEHE et al., 2011; MUEHE et al., 2018).

Área de estudo

A presente área estudo envolve dois arcos de praia, ambos localizados na região centro-norte do Estado do Rio de Janeiro. O primeiro arco, com 8,5 km de extensão, é limitado pela foz do rio São João ao Sul e, pela praia da Tartaruga, ao Norte. Já o segundo arco, com 5,5 Km de extensão, compreende a praia de Costa Azul. Esses arcos de praia estão inseridos predominantemente no litoral do município de Rio das Ostras; enquanto um pequeno trecho está inserido no município de Casimiro de Abreu, conforme mostra a figura 1.

Especificamente em relação à geomorfologia costeira, Muehe (2006) divide o litoral do Rio de Janeiro em nove compartimentos ao longo de dois segmentos: o Macrocompartimento Bacia de Campos (litoral oriental) e o Macrocompartimento dos Cordões litorâneos (litoral sul). A área de estudo está inserida no litoral oriental, mais especificamente no "compartimento do rio Macaé ao embaiamento do rio São João". Uma das principais características desse compartimento corresponde à influência da sedimentação fluvial na morfodinâmica costeira. Devido à orientação da deriva litorânea predominante, os sedimentos finos oriundos do rio São João se concentram na antepraia ao sul da foz do mesmo rio, propiciando praias com estágio morfodinâmico dissipativo. Por outro lado, ao norte da foz, onde encontram-se as praias do Abricó, da Tartaruga e de Costa Azul, a concentração de sedimentos grossos de origem reliquiar propiciam praias predominantemente do tipo refletiva (FERNANDEZ e MUEHE, 1998).

O clima de ondas para esta área do litoral sudeste é caracterizado pelo predomínio de ondas provenientes de ENE-ESE. Estas são caracterizadas por condições de baixa e média energia, com altura de ondas entre 1-2m, menor período, e concentradas entre os meses de primavera e verão. Essas condições estão associadas à influência do Anticiclone do Atlântico Sul (ASAS). Por outro lado, ondas com maior período e altura superiores à 2m são provenientes dos quadrantes Sul, concentrando-se entre o outono e o inverno, sendo associadas à passagem de sistemas frontais (KLUMB-OLIVEIRA, 2015). As marés são de regime semi-diurno, indicando duas preamares e duas baixa-mares, com amplitude máxima em torno de 1,0 m.

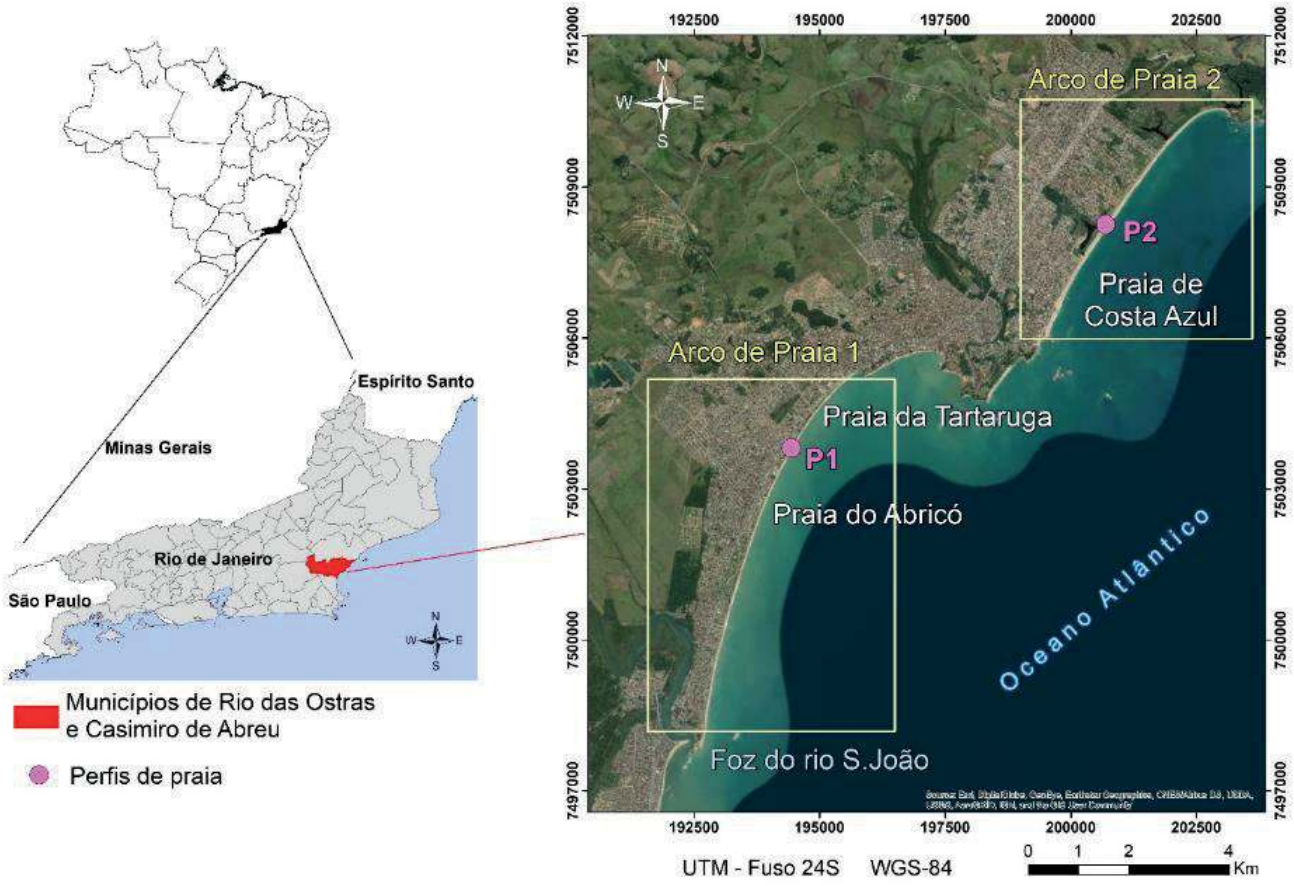

Figura 1: Localização da área de estudo, com destaque para os dois arcos de praia que foram investigados. Notar a urbanização adensada próximo ao litoral.

Especificamente sobre os trabalhos pretéritos referentes à erosão costeira na área, Muehe et al. (2006), numa classificação para o litoral fluminense, caracterizaram o arco de praia entre a praia da Tartaruga e o Rio São João, com grau de erosão médio; enquanto que o arco de praia de Costa Azul, foi caracterizado com grau de erosão fraco. O autor, no entanto, não deixa claro os critérios utilizados para avaliação dos processos erosivos no litoral. Recentemente, numa atualização desta classificação do litoral fluminense, Muehe et al. 2018 adicionaram a taxa de 0,6 m/ano de erosão nas adjacências à praia da Tartaruga, a partir da compilação de dados entre 1999 e 2010. De acordo com Muehe et al. (2011), a simulação da refração de ondas na área indicou a ocorrência de convergência de energia de ondas de direção SSE, nas proximidades dessa praia, o que poderia explicar esse processo de erosão costeira.

Fernandes (2010) e Castro et al. (2011), através da análise de perfis de praia e fotografias aéreas de diferentes anos (1975 e 2003), indicaram recuo da linha de costa na praia da tartaruga com média de aproximadamente 1,4m/ano. Os autores atribuem a causa do atual estágio erosivo a dois importantes fatores: a construção da barragem de Juturnaíba, que teria alterado a vazão de sedimentos no rio; e a impermeabilização do pós-praia devido à urbanização na área.

A urbanização da orla marítima do município de Rio das Ostras tem chamado a atenção nas últimas décadas. Segundo o IBGE, o município passou por um aumento demográfico expressivo, tornando-se o segundo município que mais cresceu no Brasil desde os anos 2000, muito em função da prospecção de petróleo na Bacia de Campos. Esse crescimento populacional associado ao incremento das receitas pelos royalties e pela atividade turística concentrada no litoral gerou um cenário propício à ocupação e valorização da orla marítima

(figura 1), bem como à execução de projetos urbanísticos e revitalização de praias. Foram construídos em parte da praia de Costa Azul, quiosques padronizados, ciclovia, calçadão, parques infantis, e construção de decks, muitas vezes com materiais de alto custo, como porcelanato (NOGUEIRA, 2017). Cabe ressaltar que parte dessas construções foi inserida dentro do perfil morfodinâmico das praias e, atualmente, algumas apresentam sinais de deterioração e danos causados por efeitos de ressacas (figura 8A).

Materiais e métodos

Para a avaliação da dinâmica da linha de costa na escala interdecadal, priorizou-se a análise a partir de fotografias aéreas e Ortofotos, abarcando o intervalo temporal entre 1976-2016/17. As fotografias aéreas compreendem as datas de 1976, 2000 e 2005 e foram obtidas, respectivamente, no Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM), na empresa Ampla, e no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), conforme detalhadas na tabela 1.

Tabela 1: Dados dos materiais cartográficos obtidos para fins de análise

Linha de Costa (LC)				
	1976	2000	2005	2016/2017
Obtenção da LC	Vetorização	Vetorização	Vetorização	Caminhamento
Indicador de LC	Escarpa de pós-praia / Limite de vegetação	Escarpa de pós-praia / Limite de vegetação	Escarpa de pós-praia / Limite de vegetação	Escarpa de pós-praia / Limite de vegetação
Material	Fotografia Aérea	Fotografia Aérea	Ortofoto	GPS Geodésico
Fonte	FAB/DRM	AMPLA	IBGE	Campo (In situ)
Escala	1: 20.000	1: 10.000	1:25.000	-------
Resolução Espacial	1,0 m	0,70 m	1,0 m	-------

Para o georreferenciamento das imagens foi utilizado o posicionamento das Ortofotos de 2005 Segundo a avaliação geométrica realizada por Quadros (2015) nas Ortofotos de Macaé (RJ) e Quissamã (RJ), essas imagens obtiveram um erro médio de posicionamento de 2,26 m. Após a etapa de ajuste foram extraídas as linhas de costa das fotografias de 1976, 2000, 2005; que foram vetorizadas com auxílio do software ArcGis 10.4 em formato shapefile. No arco de praia 1 (Tartaruga – Abricó), foi escolhido como indicador de linha de costa a "base da escarpa de pós-praia". No arco de praia 2 (Costa Azul), foi utilizado o indicador de "limite da linha de vegetação", também considerado um indicador de pós-praia que, portanto, não sofre a influência da variação da maré. Estes indicadores fazem parte da categoria de "feições costeiras discerníveis visualmente", conforme sistematizado por Boak e Turner (2005). Para obter a linha de costa referente aos anos de 2016 (Arco de praia da Tartaruga) e 2017 (arco de praia de Costa Azul) realizou-se um caminhamento com GPS Geodésico (modelo Zênite L1/L2) na escarpa de pós-praia e limite da vegetação. Os dados obtidos foram processados em laboratório com a utilização do programa GTR Processor, cujas coordenadas foram ajustadas automaticamente pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).

A fim de comparar a variação das taxas das linhas de costa vetorizadas ou obtidas no campo foi utilizada a extensão do software Arcgis 10.4, o *Digital Shoreline Analyses System* (DSAS). O DSAS gera transectos perpendiculares a uma linha de base determinada pelo

usuário e calcula as taxas de mudanças através de métodos estatísticos distintos que são mostrados em uma tabela de atributos (THIELER et al., 2008). Neste trabalho, foram gerados transectos a cada 100m distribuídos pelos 8,3 km de linha de costa no arco de praia 1; e por 4,3 km de linha de costa no arco de praia 2. Com a finalidade de caracterizar o comportamento da linha de costa, foi gerada uma classificação a partir das taxas em m/ano, cujas classes foram baseadas nos trabalhos de Esteves e Finkl (1998) e Luijendick et al. (2018): Acreção: > 0,5 m/ano; Estabilidade: -0,5 m/ano a 0,5 m/ano; Erosão: -0,5 m/ano a -1 m/ano; Erosão severa: - 1 m/ano a -3 m/ano; Erosão extrema: < -3 m/ano. Para isso, foi utilizado o dado estatístico de EPR (*End Point Rate*), onde o DSAS calcula as distâncias entre as LCs de acordo com o intervalo temporal.

Para a análise da dinâmica da linha de costa na escala interanual, foram realizados perfis de praia, cujos dados pretéritos compõem o acervo do Laboratório de Geografia Física da Universidade Federal Fluminense (LAGEF – UFF), e fazem parte de uma extensa rede de monitoramento contínua iniciada em 2005 (Tabela 2). O ponto de partida dos perfis foi determinado por Referenciais de Nível (RNs) pré-estabelecidos em marcos de madeira ou concreto e os perfis se estenderam até o recuo máximo das ondas. As cotas dos RNs foram amarradas ao nível médio do mar, conforme a metodologia sugerida por Muehe et al. (2003). Os dados topográficos foram obtidos com Estação Total (modelo Trimble Series 5500) e posteriormente foram plotados e processados no laboratório utilizando o software Microsoft Office Excel.

Tabela 2: Dados do monitoramento de perfis de praia na área de estudo

Perfis de praia	Coordenadas	Período do monitoramento	Número de levantamentos
P1 - Praia da Tartaruga	0194443 / 7503814 24K	2007-2017	9
P2 - Praia de Costa Azul	0200696 / 7508257 24K	2005 -2017	13

Resultados e discussões

Arco de praia 1: Praia da Tartaruga / Abricó até a foz do rio São João

Ao classificar a dinâmica da linha de costa de acordo com os intervalos para as taxas estabelecidos por Esteves e Finkl (1998) e Luijendijk et al. (2018) foi possível identificar que na escala interdecadal, o arco de praia mostrou estabilidade durante o período entre 1976-2016, exceto ao norte do arco, na praia da Tartaruga. Nesse setor do arco, a média de recuo da linha de costa foi de -0,68m/ano, mas, dependendo do transecto, pode chegar à -0,82m/ano, resultando na classificação de "Erosão" (figura 2). Essa taxa é bastante semelhante à encontrada na plataforma *Deltares Aqua Monitor* desenvolvido por Luijendick et al. (2018), cuja avaliação é feita com imagens Landsat entre 1984-2016. Já no período da última década (2005-2016), o extremo norte do arco passou a apresentar taxas de erosão a partir de -1,0 m/ano, configurando-se como uma área em "Erosão Severa" (figura 2).

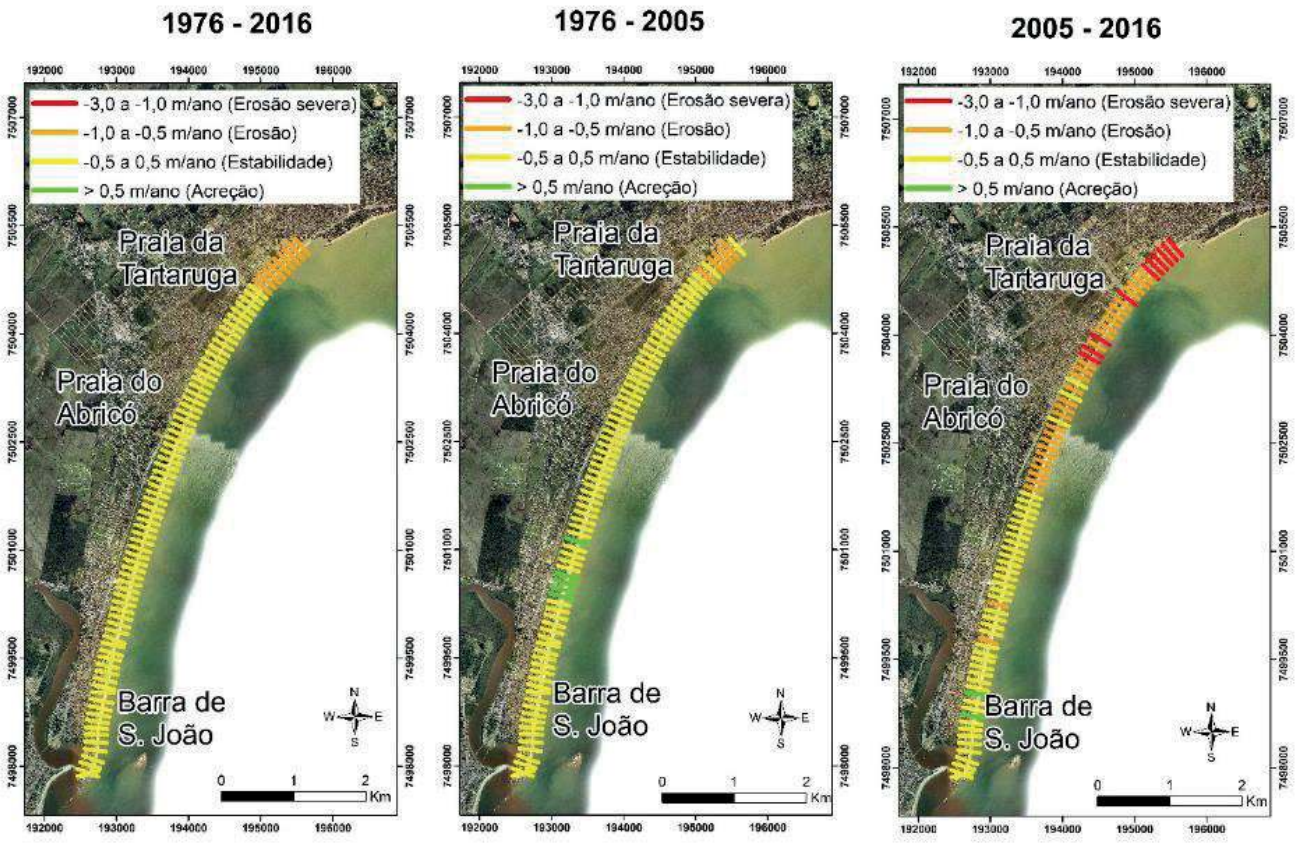

Figura 2: Classificação do comportamento da linha de costa na escala interdecadal, no arco de praia entre a praia da Tartaruga e Barra de São João.

A mudança de classe também foi observada até o centro do arco, englobando a praia do Abricó onde a linha de costa estava enquadrada na classe de estabilidade, até o ano de 2005 (figura 2). No último intervalo temporal analisado, essa área passa a ser enquadrada na classe de "Erosão", com uma taxa média de -0,8 m/ano. Esse dado é corroborado pelas atuais obras emergenciais para mitigação do processo de erosão costeira que foram construídos na forma de enrocamentos. Essas estruturas estavam concentradas nos primeiros 300 m de arco de praia, porém com a intensificação e o aumento da área de influência da erosão costeira, em julho de 2018 foram iniciadas novas obras para o prolongamento dos enrocamentos até cerca de 1,5 km desse arco de praia, a um custo total de R$ 5 milhões, segundo os dados disponíveis no site da Prefeitura de Rio das Ostras (figura 3A).



Figura 3: (A) Obra emergencial para a contenção do processo de erosão costeira na praia do Abricó. Foto de Agosto de 2018. (Fonte: Acervo LAGEF). (B) Praia da Tartaruga sem evidências do processo erosivo no ano de 1998. (Fonte: https://www.facebook.com/Sospraiadatartaruga/).

O aumento da velocidade da erosão costeira e da propagação em direção ao sul do arco de praia entre 2005-2016, carece de maiores pesquisas a fim de discutir tais diferenças de forma mais consistente. Porém Muehe et al. (2015), a partir da análise do monitoramento de perfis de praia, entre os anos de 1996 e 2001, nas praias do Abricó e Tartaruga, verificou que o recuo da escarpa de pós-praia passou a ocorrer a partir de novembro de 2004, corroborando os registros de moradores locais do município (figura 3B). Porém, isso não significa que a erosão costeira ou o recuo da linha de costa não ocorressem antes, considerando que a urbanização é relativamente recente na respectiva orla. Após o ano de 2004, os autores citam importantes eventos de ressaca como detonadores do recuo da escarpa.

De acordo com Souza et al. (2016), no ano de 2004 ocorreram 11 eventos de tempestade na costa da Bacia de Campo, no qual o litoral do município de Rio das Ostras está inserido. Os autores analisaram dados de ondas a partir do modelo WaveWatch III, entre os anos de 2003 e 2014 e verificaram a ocorrência de 75 eventos com ondas de tempestade, cujas características refletem uma duração média de 36 horas, altura média de 3,22 m e direção média vinda de Sul. Especificamente o ano de 2004 foi o de maior ocorrência desses eventos de alta energia no intervalo temporal analisado, o que pode explicar o recuo da escarpa de pós-praia observado por Muehe et al. (2015), a partir de novembro de 2004 na praia da Tartaruga.

Na mesma praia, o perfil monitorado pelo Laboratório de Geografia Física da UFF entre 2007 e 2017, mostrou um recuo contínuo do topo da escarpa de pós-praia da ordem de 6,3 m em dez anos (figura 4A), representando uma taxa de 0,6 m/ano. Conforme mostra a figura 5, o exato ponto na imagem onde se localiza o perfil de praia indicou um recuo de 6,1 m, portanto, similar à encontrada no perfil (6,3 m/ano). Considerando que a análise feita a partir de perfis de praia é menos suscetível a erros, quando comparado com as imagens em função dos erros de vetorização e de georreferenciamento, a semelhança entre as taxas obtidas por métodos diferentes, pode ser um bom parâmetro da qualidade do mapeamento obtido através de imagens.

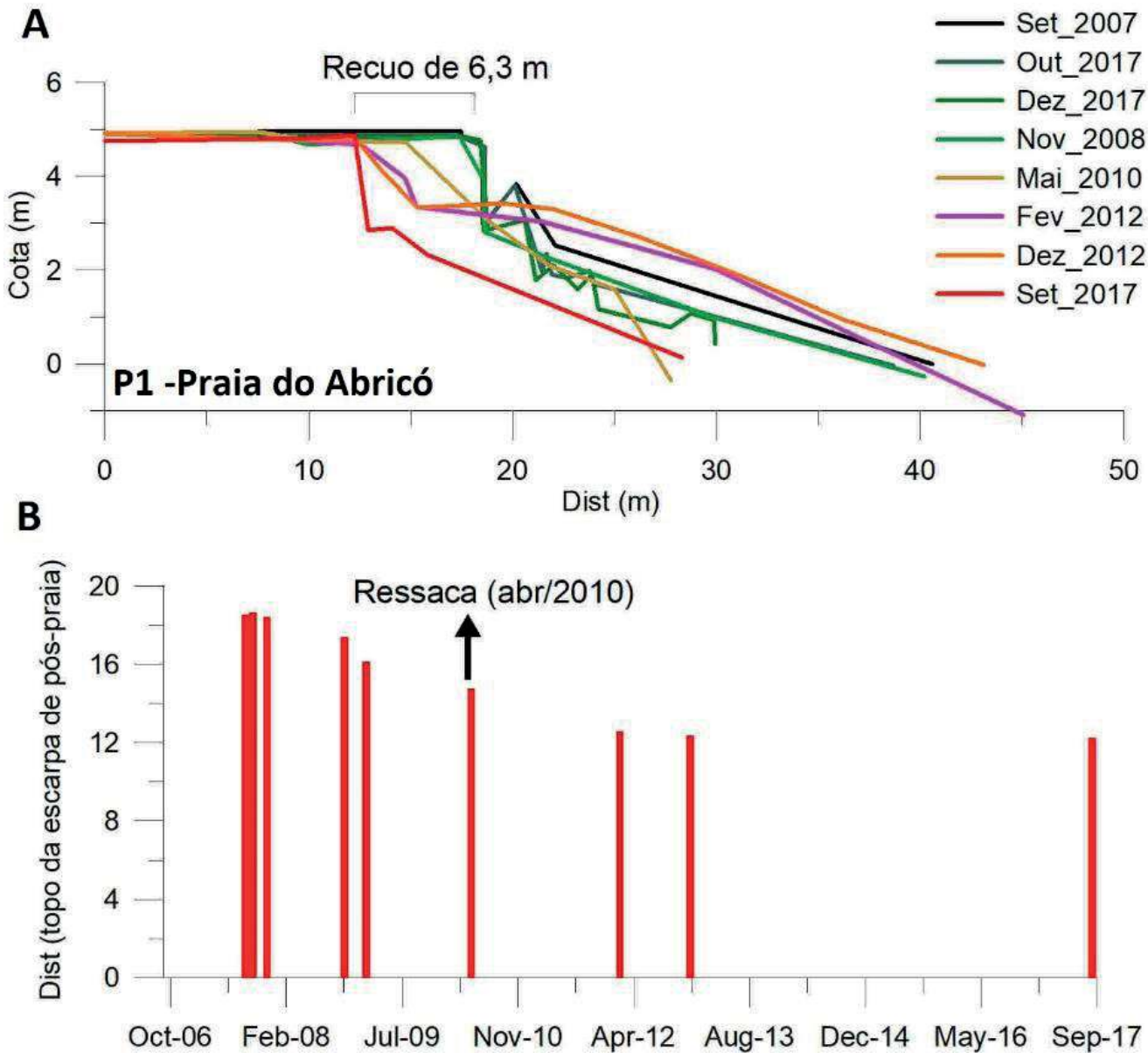

Figura 4: (A) Monitoramento do perfil da praia do Abricó. (B) Gráfico indicando o recuo contínuo do topo da escarpa de pós-praia entre 2007 e 2017.

Cabe ressaltar ainda que, o conjunto desses dados (imagens e perfis de praia) indicam que a erosão costeira provavelmente tem um significado de processo contínuo tanto na escala interdecadal, quanto na escala interanual. Porém não se deve descartar a participação dos eventos de ressaca como possíveis "detonadores" do processo erosivo e consequente recuo da linha de costa, conforme mostra o gráfico na figura 4B, como também apontaram Muehe et al. (2015). Neste ponto, é possível observar um expressivo recuo da escarpa de pós-praia após a ressaca de abril/2010 e uma certa estabilização nos anos seguintes. Ainda assim, na escala interanual, o monitoramento do perfil de praia realizado ao longo de uma década, também indica uma erosão costeira como tendência, ao menos no setor norte do arco de praia, uma vez que o perfil de 2017 mostra uma expressiva redução do estoque sedimentar da praia, apesar de ter ocorrido uma recuperação no ano de 2012 (figura 4A).

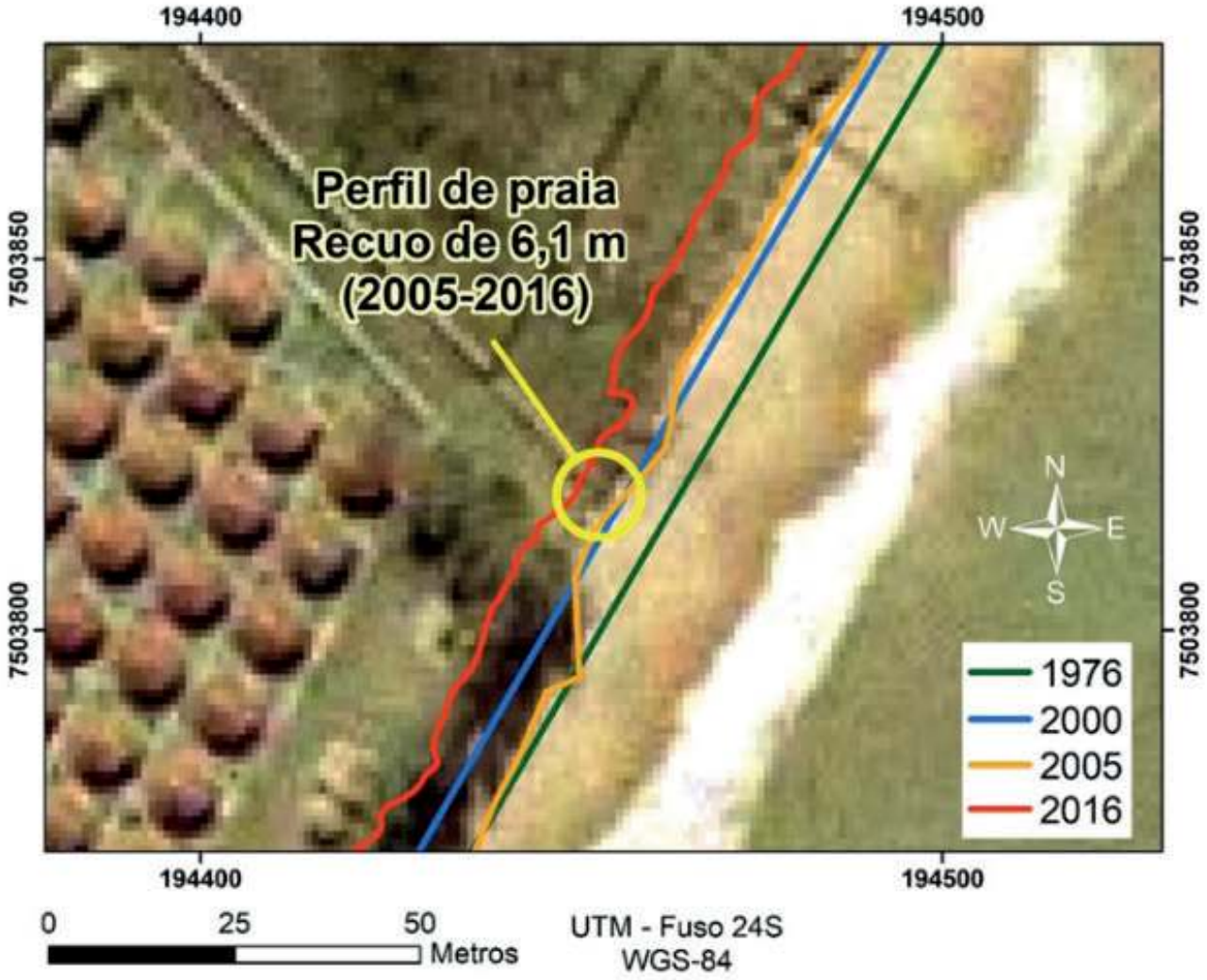

Figura 5: Estimativa da taxa de recuo da escarpa de pós-praia sobre a Ortofoto de 2005, no exato ponto da localização do monitoramento do perfil de praia, entre a praia da Tartaruga e a praia do Abricó.

Arco de praia 2: Costa Azul

A classificação da dinâmica da linha de costa proposta por Esteves e Finkl (1998) e Luijendijk et al. (2018) para os principais intervalos temporais da análise do presente trabalho, indica que a linha de costa na orla de Costa Azul pode ser considerada como "Estável" em todo arco, no que se refere a escala interdecadal, conforme pode ser observado nos intervalos temporais entre 1976-2017 e 1976-2005, cujas taxas foram menores que 0,5 m/ano (Figura 6). Por outro lado, nos últimos 12 anos, o mapeamento da linha de costa a partir do indicador de limite da vegetação resultou numa classificação de "Erosão" ao norte do arco de praia e de "Acreção" ao sul do arco.

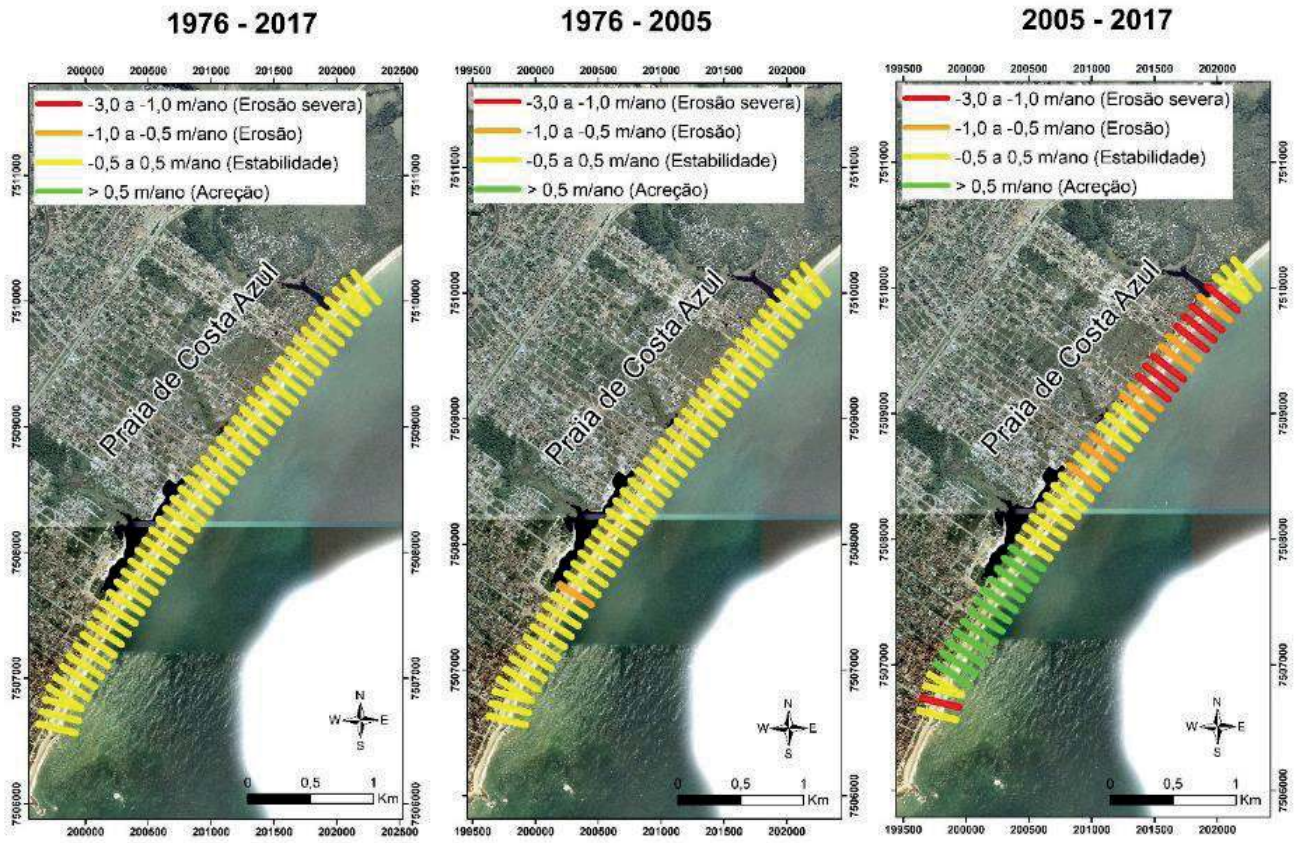

Figura 6: Classificação do comportamento da linha de costa na escala interdecadal, no arco de praia de Costa Azul. Especificamente nesse arco de praia, foi utilizado somente a "linha de vegetação" como indicador de LC.

O recuo da linha de costa nesse último período de análise (2005-2017), provavelmente é reflexo do efeito das ondas de tempestade que ocorreram em abril de 2010, cujas características e impactos foram largamente documentados por Bulhões et al. (2010), Fernandez et al. (2011), Fernandez et al. (2015), Oliveira-Filho et al. (2016). O evento foi considerado excepcional, com ondas de mais de 3,0 m de altura, atuando por um período de aproximadamente 60 horas, com direção predominante de Sudeste. No período de pico, as ondas chegaram a ser superiores à 4,5 m. Dentre as praias cujos impactos foram avaliados no litoral centro-norte fluminense, a praia de Costa Azul foi uma das mais atingidas em termos de perda de volume sedimentar e largura da praia.

Esse impacto também é identificado no envelope de perfis de praia, conforme mostra a figura 7. Nesse monitoramento é possível observar que, entre 2007 e 2009, a praia se manteve bem estável, apresentando somente a mobilidade da berma característica de praias refletivas de alta energia. Em abril de 2010, a praia foi intensamente erodida, formando uma escarpa de pós-praia com cerca de 2,0 m de altura. Essa feição é característica do impacto do tipo "Colisional", decorrente da relação entre a altura da onda e altura da barreira costeira (SALLENGER, 2000; FERNANDEZ et al., 2011; OLIVEIRA-FILHO et al., 2016).

De acordo com Oliveira-Filho et al. (2016), a ressaca erodiu cerca 82% do volume sedimentar desse ponto de monitoramento, ocasionando a remoção completa da face praial; além de recuo do limite de pós-praia, identificado como o limite da vegetação, de cerca de 11 metros (figura 7). No ano seguinte após o evento de 2010, a recuperação do volume sedimentar da praia já passou a ser identificada (OLIVEIRA-FILHO et al., 2016) e, em 2017, a morfologia do perfil já era bastante semelhante ao do pré-evento. Especificamente, o setor norte do arco de praia aparece com as maiores taxas de recuo de linha de costa (figura 6) porque, provavelmente, isso pode estar relacionado ao fato desse setor ser mais exposto às ondas de Sudeste e, portanto, aos efeitos de ressacas. Essa discussão mostra que, na escala

interanual, a dinâmica da linha de costa na praia de Costa Azul é reflexo de eventos, não se configurando como um processo contínuo de erosão costeira. E para essa interpretação é essencial o monitoramento de perfis de praia na escala interanual, consorciado com as imagens na escala interdecadal.

Mazzer e Dillemburg (2009) e Muehe (2011) também concordam com a importância dos perfis de praia para uma melhor análise da linha de costa consorciada com imagens e fotografias aéreas. Porém, Mazzer e Dillemburg (2009) utilizam perfis de praia no intervalo entre 1998 e 2002 e, nesse caso, esse intervalo parece ser insuficiente para corroborar a tendência à erosão identificada pelas imagens. Já Muehe (2011) mostrou que a análise dos perfis de praia com mais de 10 anos de monitoramento, tem indicado um comportamento de estabilidade à médio-longo prazo em parte do litoral do Rio de Janeiro, apesar dos eventos de tempestade que temporariamente provocam redução do estoque sedimentar; ao contrário do que foi sugerido por outros trabalhos que indicaram tendência de recuo da linha de costa a partir de fotografias aéreas (ver LINS-DE-BARROS, 2005).

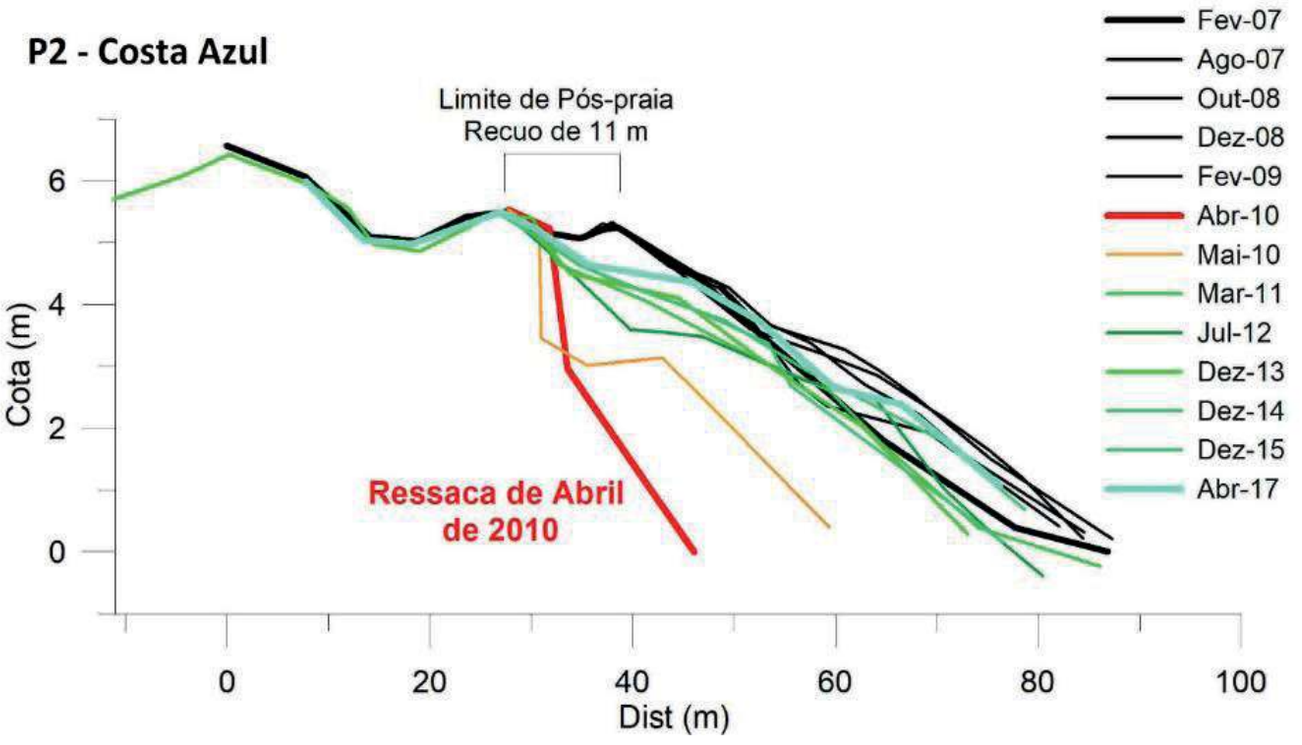

Figura 7: Monitoramento do perfil de praia na orla de Costa Azul. Notar os perfis antes do evento de tempestade e posterior ao evento. Especificamente nesse arco de praia, foi utilizado somente a "linha de vegetação" como indicador de LC que, também, é considerado um indicador de limite de pós-praia.



Figura 8: (A) Ondas de tempestade atingindo a praia de Costa Azul em abril de 2010 (Fonte: Acervo LAGEF). (B) Setor centro-norte da praia de Costa de Azul, em outubro de 2017. Notar a largura da berma extensa e as ondas de tempo bom atingindo a zona de estirâncio.

Síntese e conclusões

Os resultados nos arcos de praia, comparativamente, mostraram como a análise do comportamento da linha de costa pode ser complexa quando se avalia a questão da compreensão das diferentes escalas temporais, com relação a dinâmica praial. No arco de praia 1, ao sul, a linha de costa apresentou comportamento de estabilidade na escala interdecadal. Na praia da Tartaruga e do Abricó, entre o centro e o norte do arco de praia, a taxa de recuo foi de aproximadamente 1,0 m/ano entre 2005-2016, configurando um aumento da velocidade nos últimos 11 anos (tabela 3). Isto pode estar relacionado à atuação de eventos de tempestade, cuja frequência e magnitude pode ter aumentado. Esses eventos de alta energia poderiam funcionar como "detonadores" do processo de erosão. Contudo, o envelope de perfis de praia, com análise na escala interanual, indica que a erosão costeira tem um significado de processo contínuo no tempo.

No arco de praia 2, a praia de Costa Azul apresentou estabilidade enquanto comportamento da linha de costa, nos intervalos temporais entre 1976-2016 e 1976-2005, com taxas máximas representativas de dinâmica entre - 0,32 m/ano e +0,44 m/ano. Porém entre 2005 e 2017, foi identificado erosão no setor norte e acreção no setor sul, cuja dinâmica esteve atrelada inicialmente ao evento de tempestade de abril de 2010. Caso não houvesse a avaliação interanual dos perfis de praia em Costa Azul, por exemplo, o setor norte do arco poderia ter sido erroneamente interpretado com comportamento de erosão costeira, no sentido de processo contínuo. E, na realidade, os perfis de praia indicaram a já recuperação do estoque sedimentar do perfil emerso após o mencionado evento de tempestade. Contudo, isso não significa que a orla marítima de Costa Azul não seja vulnerável ao fenômeno da erosão costeira e aos possíveis impactos decorrentes dela, mesmo se for em função de eventos de tempestade.

Finalmente, os resultados demonstram o quão importante é a necessidade de pontos de controle para monitoramento da praia, uma vez que, intepretações equivocadas da dinâmica da linha de costa em imagens, podem levar a estratégias também equivocadas para mitigação de possíveis impactos da erosão costeira. Enquanto as praias da Tartaruga e do Abricó já convivem com estruturas de contenção, como os enrocamentos; a praia de Costa Azul ainda pode incentivar a restrição da ocupação da orla por meio da compatibilização da legislação urbanística e ambiental, em associação com programas governamentais como o Projeto Orla. Os cenários previstos nesse século para as áreas costeiras em função das mudanças climáticas devem, portanto, considerar a análise crítica da dinâmica da linha de costa. Essa análise crítica deve perpassar pela compreensão do comportamento da LC nas escalas interdecadal e interanual de análise e, consequentemente, por uma abordagem multimetodológica. Nesse sentido, apesar das análises por imagens representarem uma tendência alavancada pelas técnicas e instrumentos relacionados ao sensoriamento remoto, o monitoramento de perfis de praia continua sendo um conjunto de dados importantes para se avaliar, por exemplo, o significado da erosão costeira e da mobilidade praial.

Tabela 3: Síntese das taxas máximas de variação da linha de costa em m/ano, distribuídos por setores dos respectivos arcos de praia.

Arco de Praia 1	1976-2016	1976 - 2005	2005 - 2016	Significado da erosão costeira
	Taxa máxima	Taxa máxima	Taxa máxima	
Tartaruga (Setor Norte)	(-) 0,82 m/ano	(-) 0,7 m/ano	(-) 1,19 m/ano	Processo contínuo
Setor Central	(+) 0,5 m/ano	(+) 0,68m/ano	(-) 1,07 m/ano	Processo contínuo
Foz do rio S. J. (Setor Sul)	(-) 0,45 m/ano	(-) 0,31m/ano	(-) 0,39 m/ano	(Estabilidade)
Arco de Praia 2	1976-2017	1976 - 2005	2005 - 2017	Significado da erosão costeira
	Taxa máxima	Taxa máxima	Taxa máxima	
Costa Azul (Setor Norte)	(-) 0,32 m/ano	(-) 0,33 m/ano	(-) 1,56m/ano	Eventual / tempestade
Costa Azul (Setor Sul)	(+) 0,44 m/ano	(-) 0,55 m/ano	(+) 1,56 m/ano	....

Referências

BIRD, E. C. F. **Coastline changes: A Global Review**. Wiley, Chichester. 1985.

BOAK, E. H.; TURNER, I. L. **Shoreline definition and detection: a review**. *Journal of Coastal Research*, vol. 21, n. 4. 2005.

BULHÕES, E. M. R.; FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B. **Efeitos morfológicos nas barreiras costeiras do litoral centro-norte do estado do Rio de Janeiro: resultados do evento de tempestade de abril de 2010**. *Revista de Geografia*. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 2, Set. 2010.

CASTRO, J. W.; FERNANDES, D.; DIAS, F. F. **Monitoramento do processo de erosão costeira na Praia das Tartarugas, Rio das Ostras – Estado do Rio de Janeiro / Brasil: Aplicação de Metodologia Quantitativa.** *Revista de Gestão Costeira Integrada*. Agosto. 11(3):355-368, 2011.

ESTEVES, L. S.; FINKL, C. W. **The problem of critically eroded areas (CEA): Anevaluation of Florida beaches**. *Journal of Coastal Research*, SI 26, 11–18. 1998.

FERNANDES, D. O **Processo Erosivo na Praia das Tartarugas - Rio das Ostras / Estado do Rio de Janeiro: Dinâmica Sedimentar e Controle Ambiental**. Dissertação de Mestrado em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2010. 95p.

FERNANDEZ, G. B.; E. BULHÕES; ROCHA, T. B. **Impacts of Severe Storm Occurred in April 2010 along Rio de Janeiro Coast, Brazil**. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 64,1850 – 1854. 2011.

FERNANDEZ, G.B.; MUEHE D. **A influência de sedimentos fluviais na morfologia da praia e antepraia no embaiamento de Rio das Ostras – Cabo Búzios – (RJ)**. *Geosul* 14 (27) 201- 207.1998.

KLUMB-OLIVEIRA, Leonardo. **Variabilidade interanual do clima de ondas e tempestades e seus impactos sobre a morfodinâmica no embaiamento de Rio das Ostras- Cabo Búzios – (RJ).** Tese - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Faculdade de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

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*. Ano 6, nº 2, pp. 83-90. 2005.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. **The State of the World's Beaches**. *Nature, ScientificReports*. 8:6641 | DOI:10.1038/s41598-018-24630-6. 2018.

MAZZER, A. M. e DILLENBURG, S. **Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil)**. *Pesquisas em Geociências*, 36 (1): 117-135, jan./abr. 2009.

MUEHE, D. **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA. 476 p. 2006.

MUEHE, D. **Erosão Costeira - Tendência ou Eventos Extremos? O Litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil**. *Revista da Gestão Costeira Integrada,* 11(3):315-325. 2011.

MUEHE, D.; FERNANDEZ, G. B.; BULHÕES, E. R. M; AZEVEDO, I. F. **Avaliação da vulnerabilidade física da orla costeira em nível local, tomando como exemplo o arco praial entre Rio das Ostras e o Cabo Búzios/RJ**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 12(2): 45-58, 2011.

MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; BULHOES, E.; OLIVEIRA, L. K.; PINTO, N.; DIAS, M. S. **Rio de Janeiro**. In: Dieter Muehe. (Org.). Panorama da Erosão Costeira no Brasil. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, v. I, p. 478-545. 2018.

MUEHE, D.; LINS-DE-BAROS, F.; OLIVEIRA, J. F.; KLUMB-OLIVEIRA, L. **Pulsos erosivos e resposta morfodinâmica associada a eventos extremos na costa leste do estado do Rio de Janeiro**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 16(3): 369-386, 2015.

MUEHE, D.; ROSO, R. H.; SAVI, D. C. **Avaliação do Nível do Mar como Datum Vertical para Amarração de Perfis de Praia**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 4, N.1, p 53-57. 2003.

NOGUEIRA, J. F. **A transformação da paisagem litorânea urbana:a orla de Costa Azul, um caso referência.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2017.

OLIVEIRA FILHO, S. R.; BULHÕES E. M. R.; MALUF, V. B.; PEREIRA, T. G.; ROCHA T. B.; FERNANDEZ, G. B. C**aracterização dos impactos morfológicos ocasionados por tempestade em praias refletivas: exemplo do litoral de Rio das Ostras, RJ**. *Anais do 11º Simpósio Nacional de Geomorfologia*. Maringá (PR). 2016.

QUADROS, M. A. R. **Comportamento da linha de costa em escala decadal: exemplo do litoral entre Macaé e Barra do Furado, litoral norte do estado do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2015. 120 p.

SALLENGER, A. H. **Storm Impact Scale for Barrier Islands**. *Journal of Coastal Research*, 16 (3), 890–895. 2000.

SHORT, A. D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester, Wiley, 379 p. 1999.

SOUZA, C. R. G.; SOUZA FILHO, P. W. M.; ESTEVES, L. S.; VITAL, H.; DILLEMBURG, S. R.; PATCHINEELEM, S. M.; ADDAD, J. E. **Praias arenosas e erosão costeira**. In: SOUZA, C.R.G., SUGUIO, K. OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. *Quaternário do Brasil*, p.130-152. Editora Holos, Ribeirão Preto. 2005.

SOUZA, T. A.; BULHOES, E; AMORIM, I. B. S. **Ondas de tempestade na costa norte fluminense**. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 6, p. 10-17, 2015.

STIVE, M. J. F; AARNINKHOF, S. G. J.; HAMM, L.; HANSON, H.; LARSON, M.; WIJNBERG, K. M.; NICHOLLS, R. J.; CAPOBIANCO, M. **Variability of shore and shoreline evolution.** *Coastal Engineering* 47, p. 211– 235. 2002.

ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G. B. **Dinâmica da linha de costa: potencialidades, limitações e reflexões na geografia**. Capítulo de livro. 2020 (No prelo).

THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; AYHAN, E. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change**. U.S. Geological Survey Open-File Report. 2008.