

DEPÓSITOS QUATERNÁRIOS SENSÍVEIS À INUNDAÇÃO COSTEIRA EM UM LITORAL RECORTADO: CASO DE VITÓRIA E VILA VELHA, ES (BRASIL)

Giseli Modolo Vieira Machado¹
Jacqueline Albino²

Resumo: A região de Vitória/ES concentra grande parte das demandas urbanas sobre sistemas naturais suscetíveis às inundações. Este trabalho objetivou avaliar a sensibilidade à inundação costeira de uma região onde os depósitos quaternários são estreitos e com um sistema estuarino fechado e pressionado pela urbanização. O índice de sensibilidade costeira à inundação, avaliado sobre a planície fluviomarina, baseou-se em 10 variáveis físicas, sendo 5 de processos e 5 estruturais. No geral, as planícies apresentaram grau alto a muito alto de sensibilidade. As áreas mais sensíveis à inundação costeira foram as terras permanente ou temporariamente úmidas, não necessariamente próximas ao mar, mas também em áreas interiores devido ao estuário reentrante de Vitória que expõe a parte interna da planície ao aumento do nível do mar.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Sensibilidade. Inundação costeira. Aumento do nível do mar. Terras úmidas.

QUATERNARY DEPOSITS SENSITIVE TO COASTAL FLOODING ON A INDENTED COASTLINE: CASE OF VITORIA AND VILA VELHA, ES (BRAZIL)

Abstract: The region of Vitória concentrates lots of urban demands on natural systems susceptible to flooding. This work aims to evaluate the sensitivity to coastal flooding in a region where Quaternary deposits are narrow and with a closed estuarine system pressured by urbanization. The coastal sensitivity index evaluated on the plains was based on 10 physical variables (5 of process and 5 structural). In general, plains showed a high to very high degree of sensitivity. The most sensitive area were the wetlands. Proximity to the coast is an important factor, however, the effects of sea level rise also were severe in areas that do not face the sea. The estuarine re-entrant system of Vitória exposes inland areas to the coastal flooding, which may have their sensitivity enhanced by the proximity of watercourses.

Keywords: Vulnerability. Sensitivity. Coastal flooding. Sea level rise. Wetlands.

DEPÓSITOS CUATERNARIOS SENSIBLES A INUNDACIONES COSTERAS EN UN LITORAL ACCIDENTADO: CASO DE VITÓRIA Y VILA VELHA, ES (BRASIL)

Resumen: La región de Vitória/ES concentra gran parte de las demandas urbanas en sistemas naturales susceptibles a inundaciones. Este trabajo tuvo como objetivo evaluarla sensibilidad a las inundaciones costeras en una región donde los depósitos cuaternarios son estrechos y con un sistema estuarino cerrado y presionado por la urbanización. El índice de sensibilidad costera evaluado sobre la llanura se basó en 10 variables físicas. En general, las llanuras presentaron un grado de sensibilidad de alto a muy alto. Las zonas más sensibles fueron las tierras permanente o

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Vitória, Brasil, giselimodolo@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-2169-4123>.

² Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Vitória, Brasil, albino.jacqueline@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2890-9227>.

temporalmente húmedas, no necesariamente cercanas al mar, pero también en zonas más interiores debido al configuración del estuario de Vitória que expone la parte interior de la llanura al inundaciones costeras.

Palabras clave: Vulnerabilidad. Sensibilidad. Inundación costera. Aumento del nivel del mar. Humedal.

Introdução

Os cenários futuros de mudanças climáticas incluem o aumento do nível relativo do mar e do número de eventos extremos (chuvas e tempestades) como as principais razões para exacerbar os condutores de inundações costeiras (IPCC, 2013). Conforme Machado e Albino (2023), as inundações costeiras referem-se aos fenômenos provocados por condicionantes oceanográficas adversas, incluindo também as marés meteorológicas, consequentes ou não de efeitos das mudanças climáticas. A inundação costeira é um dos principais processos físicos que afetarão as zonas costeiras de baixa altitude, tipicamente planas apoiadas por depósitos costeiros do Holoceno, especialmente feições geomorfológicas como planícies de *chenier*, planícies lamosas, estuários, lagoas, baías, pântano salgados (*salt marshes*), manguezais e turfeiras de água doce e várzeas flúvio-lagunares, as quais compreendem, de modo geral, áreas topograficamente mais baixas e úmidas (*wetlands*), (Gornitz,1991).

As inundações são um risco atual e futuro para a zona costeira (Stevens e Kiem, 2014), uma vez que a pressão sobre essas áreas continuará a crescer com uma expansão desproporcionalmente rápida da atividade econômica, dos assentamentos, dos centros urbanos e resorts (Nicholls et al., 2007). Estudo realizado por Nicholls e Mimura (1998) previu uma estimativa alarmante de mais de 600 milhões de pessoas que ocuparão a planície de inundação costeira no ano 2100. Várias inundações costeiras graves ocorreram ao redor do globo, causando grandes danos à propriedade, interrupção prolongada aos serviços e fatalidades (Ziegler et al., 2012). Embora esses impactos possam ser potencialmente fortes, a aplicação e o sucesso de adaptação são grandes incertezas que requerem mais avaliação, motivando assim,

o interesse da comunidade científica em estudos sobre estes e outros impactos e as possíveis adaptações às alterações climáticas (Leal et al., 2022).

A região da Grande Vitória, situada no litoral Centro-sul do Espírito Santo (ES), concentra grande parte das demandas da Região Metropolitana da Grande Vitória, que conseqüentemente sobrecarregam os sistemas ambientais naturais suscetíveis às inundações. A evolução geo-histórica de Vitória mostrou que quase todo o perímetro da ilha de Vitória e o continente, ou seja, 61% da linha de costa do município, foi alterada por obras de aterros feitas para expandir o sistema viário e as atividades portuárias e criar conjuntos habitacionais e áreas de lazer. Isso se torna ainda mais importante porque mais da metade das estruturas urbanas atuais da cidade está assentada sobre aterros sanitários que cobriam águas costeiras ou florestas de mangue (Machado et al., 2018b). Segundo os autores, a topografia local que foi o maior entrave para a ocupação e desenvolvimento de Vitória no início da urbanização, depois de incorporar os depósitos tecnogênicos, continua a ser o fator limitante a qualquer tentativa de readaptação dos ecossistemas de manguezal e praias às mudanças climáticas.

Neste contexto, a vulnerabilidade da população é aumentada já que a região de Vitória é composta por planícies costeiras descontínuas (estreitas ou inexistentes) e sua evolução geológica está associada às flutuações relativas do nível do mar e à pouca disponibilidade de sedimentos fluviais (Albino et al., 2006 e 2016). Neste cenário, depósitos arenosos de cristas de praia, alagados e estuários são evidências geomorfológicas de transgressão marinha na região (Machado, 2020). Segundo Coelho e Ferreira (2011), Deina et al. (2013), Deina e Coelho (2014) e Soares et al. (2019), boa parte destas planícies são áreas suscetíveis a eventos sazonais de inundação, onde todo ano a população sofre com esses eventos.

Planejadores costeiros e formuladores de políticas precisam de uma indicação da vulnerabilidade física e social dos ambientes costeiros aos perigos como aumento do nível do mar e tempestades (Klein e Nicholls, 1999; Rogers e Woodroffe, 2016). Esses autores também compartilham a ideia que a avaliação da vulnerabilidade como um

todo (física e socioeconômica) deve começar com um entendimento do sistema natural e sua resposta biofísica às mudanças climáticas (em particular à subida do nível do mar). A identificação de uma base de dados físicos é essencial para estabelecer cenários e respostas (Muehe e Neves, 2007; Abuodha e Woodroffe, 2010b), a fim de amenizar os riscos de erosão, inundação costeira e intrusão salina. Neste aspecto, a avaliação da sensibilidade do litoral assume o ponto de partida para a avaliação da vulnerabilidade (Machado e Albino, 2023).

Uma das técnicas metodológicas mais comumente empregada na literatura para a avaliação de classificação da sensibilidade costeira é o Índice de Vulnerabilidade Costeira, IVC (*Coastal Vulnerability Index*), proposto por Gornitz (1991). De acordo com Abuodha e Wooroffe (2010a), esta é uma ferramenta em que as variáveis, assim como, as classes de sensibilidade devem ser ajustadas à realidade da área de estudo. Esses autores optaram, por exemplo, em integrar informações de variáveis semi-quantificáveis estruturais (tipo de rocha, declive da costa, geomorfologia, tipo de barreira, exposição da costa e taxa de mudança da linha de costa) e de processo (taxa de aumento do nível do mar, altura média das ondas e amplitude média da maré) para gerar o índice de sensibilidade costeira para a costa leste da Austrália. A finalidade é optar pelas variáveis mais relevantes para cada estudo e ainda escolhidas em função da disponibilidade de dados e do nível de detalhamento que se pretende avaliar, ou seja, a seleção das variáveis é antes de mais nada uma questão de definição de escala (Machado e Albino, 2023), em que a escolha pode ser fundamental para a utilização precisa pelos gestores.

Neste contexto, o detalhamento dos depósitos quaternários mais internos é necessário, especialmente as terras úmidas, pois são áreas altimetricamente sensíveis ao fenômeno de inundação. Por vezes, é imprescindível fazer adequações na metodologia originalmente criada para atender a linha de costa, especialmente no caso da região de Vitória onde: 1) o trecho do litoral estudado é pequeno, recortado e a homogeneidade física da linha de costa resultaria num mesmo índice de sensibilidade e não incluiria o sistema estuarino e a planície no reverso; 2) a inundação

costeira ocorre principalmente nas terras baixas e úmidas da planície, por vezes, afastadas da linha de costa; e 3) a ferramenta escolhida, útil para caracterizar a sensibilidade de costas unidirecionais, mas não captura a variabilidade dos processos costeiros que afetam regiões mais complexas, como os estuários.

Assim sendo, este artigo se propõe avaliar parte da Região Metropolitana de Vitória, em especial as planícies fluviomarinhas correspondentes ao baixo curso dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória, quanto à sensibilidade ao fenômeno de inundação costeira impulsionado pela subida relativa do nível do mar. Para tanto, foi feita uma discussão da literatura e da área de estudo para dar suporte a definição da classe de sensibilidade mais apropriada para cada variável considerada. Posteriormente, foi aplicada a metodologia para a obtenção do Índice de Sensibilidade Costeira (*Coastal Sensitivity Index*) proposta por Abuodha e Woodroffe (2010a), porém ajustada para a área de estudo.

Área de estudo

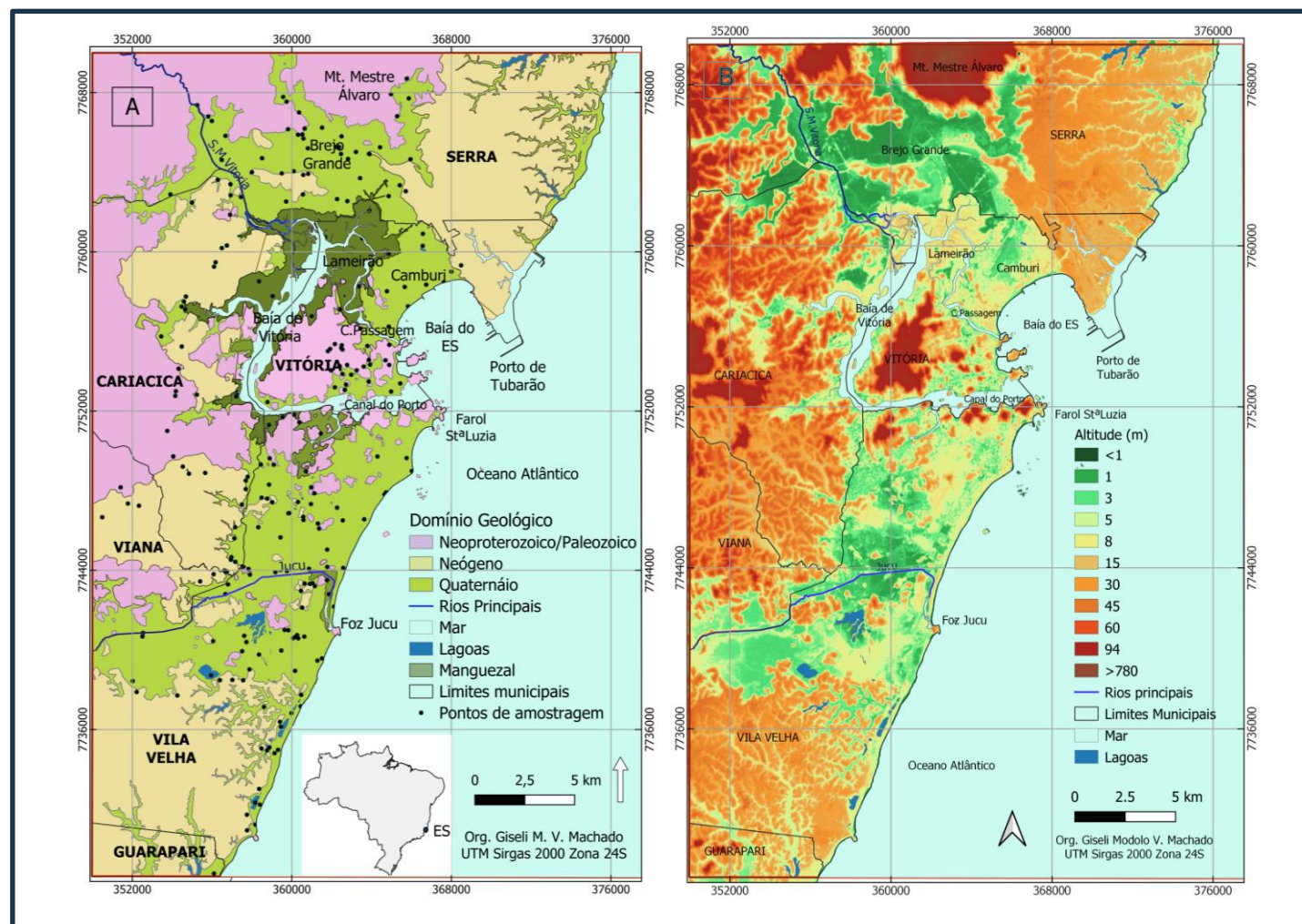
A costa Sudeste do Brasil é caracterizada por trechos com enseadas rochosas, formando um litoral muito recortado (Klein e Short, 2016), onde estão presentes pequenas planícies quaternárias e pequenos rios (Suguio e Martin, 1978; Mahiques e Souza, 1999). Os depósitos costeiros quaternários no ES são delimitados em sua margem terrestre pelas rochas cristalinas pré-cambrianas (granito/gnaiss) do complexo Paraíba do Sul e pelo platô Neógeno (Terciário) do Grupo Barreiras (Martin et al., 1996), configurando o desenvolvimento modesto de planícies fluviomarinhas (Figura 1).

A configuração geomorfológica atual do litoral de Vitória é resultado do ajuste morfológico das rochas pré-quaternárias e das oscilações do nível do mar (Machado, 2020), que moldam um sistema estuarino (baía de Vitória) bastante protegido e caracterizado por domínio de maré (Veronez et al., 2009a, 2009b; Bastos et al., 2010).

O estuário circunda a ilha de Vitória e se conecta com o mar por meio de dois canais abertos: o canal do Porto e o canal da Passagem (Figura 1).

O objeto de estudo corresponde aos depósitos quaternários fluviomarinhos compreendidos nos municípios de Vila Velha (baixo curso do rio Jucu), Vitória e porção sul da Serra (baixo curso do rio Santa Maria da Vitória), onde estão inseridos terraços arenosos fluviais, depósitos de cristas de praia, áreas brejosas, manguezais, lagunas e canais fluviais. O município de Vila Velha corresponde ao trecho sul do litoral estudado mais exposto às condicionantes oceanográficas atuais, caracterizado por um cordão holocênico estreito e longitudinal junto ao mar, que declina suavemente em direção ao continente, onde se instalam algumas pequenas lagunas (porção extremo sul) e terras úmidas entre depósitos arenosos emersos. A área do Brejo Grande corresponde à parte mais interna do embaçamento de Vitória e é caracterizada por depósitos descontínuos de areias brancas com altitudes inferiores a 3 m, truncados por paleocanais fluviais lançados entre depósitos de turfa inundáveis distribuídos até a base do monte Mestre Álvaro e dos tabuleiros do Grupo Barreiras (Machado et al., 2016). A planície de Camburi corresponde à parte externa dos depósitos quaternários de Vitória, porém parcialmente abrigada pela baía do ES. Esta planície é caracterizada por uma barreira arenosa do Holoceno junto à praia, com discretas cristas de praia de altitude máxima de 5-6 m que mergulham em direção ao continente, onde terras úmidas no reverso declinam para o interior até atingirem o manguezal nos fundos da baía de Vitória (Machado et al., 2020), (Figura 1).

Figura 1. (A) Mapa de localização da área de estudo, domínios geológicos e distribuição dos pontos de amostragem. (B) Modelo de elevação digital do terreno baseado no projeto Copernicus (Fonte Agência Espacial Europeia).



O Brejo Grande é uma área naturalmente submetida a eventos de inundação durante os períodos de chuvas mensais concentradas, que também está sob a influência da maré alta de sizígia, constatada pela presença de manguezal em certos trechos do alagado (Coelho e Ferreira, 2011). De acordo com os autores, esta área está inserida em um ambiente com dificuldade de escoamento de água (lêntico) e ocorrência de solos hidromórficos sendo, portanto, um ambiente enquadrado como Área de Preservação Permanente, resguardado pela resolução CONAMA, nº 303 de 2002 (Brasil, 2002).

As inundações costeiras observadas no município Vila Velha são historicamente causadas por fatores de ordem natural, agravadas pelo uso e cobertura da terra (Soares et al., 2019). O município de Vila Velha apresenta uma rede de drenagem complexa, que sofre alterações antrópicas diretas e indiretas como a construção e retificação de canais desde da época dos jesuítas (Deina et al., 2013) e lida constantemente com os eventos de inundação independentes da bacia hidrográfica, pois a baixa topografia, o intenso processo de urbanização e a consequente impermeabilização do solo, assim como a falta de manutenção dos canais, contribuem sobremaneira com as inundações após as chuvas, potencializadas durante a maré alta (Deina e Coelho, 2014). Portanto, as inundações na região não são resultado de situações extremas de ondas, mas podem ser agravadas por elas quando somadas à maré de sizígia e à maré meteorológica positiva, que impulsionam as águas costeiras para o interior e impedem o escoamento fluvial e pluvial para o mar.

Transformações da cobertura da terra e o suprimento de terras baixas e úmidas também fazem parte da história da cidade de Vitória. Áreas costeiras estuarinas e marinhas foram profundamente artificializadas, num processo de transformação do espaço físico, modificação da geomorfologia e do solo, criando depósitos tecnogênicos por meio de aterros (Machado et al., 2018b). Segundo os autores, pelo menos dois processos distintos de aterro foram identificados no município: o primeiro, promovido pelos interesses do poder público, utilizou materiais predominantemente hidráulicos e visava ampliar as vias urbanas e portos para otimizar e fortalecer a economia da região; o segundo usou materiais de lixo e resultou da invasão de bosques de mangue e áreas carentes de infraestrutura. Com base no material de composição dos aterros em Vitória, estes podem ser classificados em (1) aterro de lixo ou sanitário, constituído por

depósitos de lixo; (2) aterro urbano ou inerte, constituído por rejeitos construção, areia e solo; e (3) aterro dragado ou hidráulico, constituído por material oriundo de cursos d'água de canal estuarino e fundo do mar (Fanning e Fanning, 1989). Este contexto explica porque os depósitos tecnogênicos agora constituem uma importante unidade geológica da região de Vitória, uma vez, que podem dificultar o desenvolvimento dos depósitos naturais quaternários e, conseqüentemente, a manutenção do ecossistema de manguezal e a readaptação da orla costeira em cenários de nível do mar diferentes do atual (Machado et al., 2018b).

Metodologia

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) tem sido amplamente aplicado ao redor do globo (Szlafsztein, 2005; Abuodha e Woodroffe, 2007; Abuodha e Woodroffe, 2010a; Ozyurt e Erigin, 2010; Balica et al., 2012; Nguyen et al., 2016; Serafim e Bonetti, 2017) e permite a visualização dos resultados em formatos vetorial e/ou *raster*. Esta vantagem comumente conduz a modificações parciais da técnica original, como é o caso do Índice de Sensibilidade Costeira (ISC) proposto por Abuodha e Woodroffe (2010a).

O ISC é uma adaptação do IVC para melhor conduzir a avaliação da vulnerabilidade física da costa aos efeitos do aumento do nível do mar, sendo indicador de primeira ordem da sensibilidade relativa da costa, pois seus dados não podem ser comparados com outros lugares, uma vez que as classes devem ser ajustadas à área de estudo (Abuodha e Woodroffe, 2010a). O ISC é determinado pela raiz quadrada do produto das variáveis classificadas dividido pelo número total de variáveis utilizadas (Equação 1), conforme proposto originalmente por Gornitz (1991). Cada variável possui uma classificação de sensibilidade de 1 a 5, variando de muito baixa, baixa, moderada, alta a muito alta.

Equação 1:

$$ISC = \sqrt{\frac{a*b*c*d*e*f*g*h*i*j}{10}}$$

O ISC proposto por Abuodha e Woodroffe (2010a) integrou informações de variáveis estruturais e de processo usando um modelo de células de grade de imagem raster de 1,5 x 1,5 km ao longo da costa *Illawarra*, NSW (Austrália), onde

cada célula armazena e retrata os dados de cada uma das variáveis em uma tabela de atributos (formato vetorial no ArcGIS). As classes individuais (referentes a cada variável) foram combinadas por meio da Equação 1 a fim de se obter o ISC, que posteriormente foi dividido em quartis (25% do quartil mais baixo é o menos sensível) e reclassificado em cinco classes para melhor distribuir as diferenças de sensibilidade na forma de mapa.

O presente artigo adotou o ISC com a visualização dos mapas de sensibilidade por meio de imagens *raster*, porém, gerados a partir da interpolação de pontos vetoriais (pontos de amostragem) distribuídos sobre a planície e não por grade de células *raster* ao longo da linha de costa, como sugerido por Abuodha e Woodroffe (2010a). Foi mantida, contudo, a proposta de que cada ponto armazena dados de todas as variáveis.

A base cartográfica e as informações geológicas, geomorfológicas e litológicas da área de estudo foram obtidas dos produtos (mapas e banco de dados) do projeto "Mapeamento geológico e geomorfológico do Quaternário costeiro da Grande Vitória - ES" (EDITAL FAPES/CAPES 009/2014; nº0667/2015), dos quais foram apropriados os pontos de amostragem. Ao todo, são 259 pontos de amostragens de dados físicos, ou seja, pontos escolhidos para o mapeamento, sendo 173 distribuídos na planície costeira, 78 nas áreas adjacentes fora da planície e 8 em áreas além do recorte espacial da área de estudo (Figura 1). Os pontos foram definidos em campo e em gabinete, georreferenciados e classificados quanto aos aspectos físicos de acordo com os atributos de cada variável utilizada.

A carência de dados altimétricos consistentes e de detalhe é uma limitação comum na avaliação do grau de sensibilidade de áreas costeiras (Gornitz, 1991; Bush et al., 1999; Harvey e Woodroffe, 2008; Nageswara Rao et al., 2008; Rogers e Woodroffe, 2016). Não diferente, a região da Grande Vitória apresenta dados topográficos inconsistentes e/ou imprecisos. Por isso, foi adotado o Modelo de Elevação Digital do terreno (MDE) COPERNICUS (*Copernicus Digital Elevation Model*, COP-DEM), existente para toda área, disponibilizado pela Agência Espacial Europeia (*European Space Agency*), que fornece altitudes em valores decimais, ou seja, mais adequados para áreas planas (<https://spacedata.copernicus.eu/pt/collections/copernicus-digital-elevation-model>). A altitude obtida para cada ponto de amostragem foi comparada com as

altitudes obtidas das imagens do *Google Earth* e das cartas topográficas na escala 1:50.000.

Para a avaliação do ISC da região de Vitória foram definidas 10 variáveis, sendo cinco gerais (processos) e cinco pontuais (estruturais). As variáveis gerais são aquelas que agem igualmente para toda a área de estudo e foram usadas para uma avaliação geral da sensibilidade costeira, pois os valores/classes são os mesmos para todo o trecho do litoral estudado e não se aplicam adequadamente para os pontos de amostragem internos, são elas: (a) taxa de aumento do nível do mar, (b) altura média das ondas, (c) amplitude média da maré, (d) descarga fluvial e (e) declividade da costa. Com exceção da declividade da costa, essas variáveis podem ser classificadas também como de processos físicos, pois abordam os processos hidrológicos e oceanográficos que atuam nas alterações morfológicas da costa (Machado e Albino, 2023). As variáveis pontuais retratam com maior detalhamento as particularidades físicas de cada ponto de amostragem situados em toda área de estudo. São elas: (f) relevo/altitude, (g) geologia-geomorfologia, (h) feições sedimentares, (i) proximidade da linha de costa e (j) proximidade do rio. As variáveis foram classificadas em 5 níveis de sensibilidade conforme classes apresentadas na literatura e, quando necessário, ajustadas para a área de estudo (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação de sensibilidade costeira estabelecida para a região de Vitória, ES. *Classes consideradas para a área de estudo.

Tipo de variável/ID	Variável/Classe	Muito baixa (1)	Baixa (2)	Moderada (3)	Alta (4)	Muito alta (5)	Referência	
Gerais (processos)	a	Subida do nível do mar (mm/ano)	<0.0	0.0 - 0.9	1.0 - 2.0	2.1 - 3.0*	> 3.0	Abuodha e Woodroffe (2010a)
	b	Altura média das ondas (m)	0.0 - 0.5	0.6 - 1.0*	1.1 - 1.5	1.6 - 2.0	>2.1	Abuodha e Woodroffe (2010a)
	c	Amplitude média da maré (m)	>2.1	1.6 - 2.0	1.1 - 1.5*	0.6 - 1.0	0.0 - 0.5	Abuodha e Woodroffe (2010a)
	d	Vazão do rio (m ³ /s)	>500	250 - 500	150 - 250	50 - 150	0 - 50*	Ozyurt e Ergin (2010)
	e	Declividade da costa (graus)	> 45 (costa escarpada)	>20.1 a 45	10.1 a 20	6.1 a 10	0 a 6 (planícies baixas)	Abuodha e Woodroffe (2010a)
Pontuais (estruturais)	f	Altitude (m)	>20	>10- 20	>5 - 10	>3- 5	≤3.0	Classificação própria
	g	Geologia-geomorfologia	Colinas, montes e afloramentos rochosos Neoproterozoico/ Paleozoico (granito/gnaiss) de relevo acidentado ou suave	Tabuleiros, colinas e falésias Paleógeno/ Neógeno do Grupo Barreiras	Depósitos quaternários arenosos de elevação média (~5 m): terraços arenosos fluviais, planícies aluvionares, barreiras costeiras, depósitos marinhos litorâneos recentes (praia) e depósitos tecnogênicos	Depósitos quaternários do tipo planície de inundação, terraços arenosos de baixa elevação (<5m), áreas levemente deprimidas e temporariamente alagadas; depósito flúvio-lagunares	Depósitos quaternários úmidos como banhados, pântanos salgados, manguezais, planícies lamosas, áreas com espelho d'água abertas ou não (estuário, lagoa, lagunas, rio)	Classificação própria baseada em Gornitz (1991), Bush et al. (1999), Ozyurt e Ergin (2010), Abuodha e Wood. (2010a)
	h	Feições sedimentares	Rocha dura	Rocha "macia" (sedimentos argilo-arenosos, mal selecionados e ligeiramente cimentados)	Areias grossa e média, bem ou mal selecionadas, sem matéria orgânica, permeáveis, boa drenagem; aterro urbano	Sedimentos arenolamosos e lama-arenosa (areia fina, silte ou argila), mal selecionados, com conteúdo variado de matéria orgânica, permeabilidade variável, drenagem moderada a pobre; aterro hidráulico	Sedimento lamoso, turfas, com alto conteúdo de matéria orgânica, permeabilidade ruim, drenagem muito pobre; aterro sanitário	Classificação própria, baseada em Bush et al. (1999) e Silveira e Bonetti (2019)
	i	Proximidade da costa (m)	>1000	>700 - 1000	>400 - 700	>100 - 400	≤100	Ozyurt e Ergin (2010)
	j	Proximidade do rio (m)	>1000	>700 - 1000	>400 - 700	>100 - 400	≤100	Ozyurt e Ergin (2010)

Resultados e Discussão

Variáveis de sensibilidade costeira para a região de Vitória

Quanto à taxa de aumento do nível do mar, as tendências de aumento ou descida do nível do mar são bastante complexas, pois as taxas podem variar com o tempo de registro analisado e/ou disponível (ABUODHA e WOODROFFE, 2010a). Devido à ausência de dados para o litoral do ES, foi adotada a tendência média de subida do nível do mar de 2,35 mm/ano, estabelecida para a região da ilha Fiscal, situada na cidade do Rio de Janeiro, disponibilizada pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) em <https://tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/>. Devido a certas semelhanças entre as costas do Brasil e leste da Austrália, ambas caracterizadas por relativa estabilidade tectônica, clima tropical e subtropical, regime de micromaré e comportamentos similares das oscilações do nível do mar no final do Holoceno (Baker e Haworth, 2000; Baker et al., 2001), optou-se pela classificação de sensibilidade apresentada por Abuodha e Woodroffe (2010a), atribuindo desta forma, classe 4, ou seja, alta sensibilidade para toda a área de estudo (Tabela 1).

Quanto à altura média das ondas, considerando as ondas mais altas ou a média das ondas mais frequentes é certo que as classes de sensibilidade serão diferentes. É importante ter ciência que a altura da inundação é aumentada se a onda coincidir com a maré alta e se as ondas de tempestade na costa persistirem por dias (Jacob et al., 2007). No entanto, litorais abrigados, com sistema estuarino confinados, por exemplo, e aqueles caracterizados por cordões litorâneos ou dunas frontais largos e/ou relativamente mais altos que o nível médio de alcance das ondas de tempestade, podem adotar o valor da altura média das ondas para avaliar eventos inundacionais, especialmente em locais onde não há ação direta das ondas e o contato com a água do mar se dá por intrusão da maré via canal estuarino e/ou pelo lençol freático (Machado e Albino, 2023).

Considerando que as inundações costeiras observadas na região de Vitória são historicamente atribuídas à sazonalidade de chuvas mais concentradas, à baixa drenagem do terreno, coincidentes com a maré de sizígia e agravadas pelo uso e cobertura da terra (Coelho e Ferreira, 2011; Deina et al., 2013, Deina e

Coelho, 2014; Soares et al., 2019), pode-se concluir que os eventos inundacionais não são resultados de processos de transposição de ondas em situações extremas de ondas, apesar de reconhecida sua influência. Portanto, foi adotada a classificação de sensibilidade definida por Abuodha e Woodroffe (2010a), pois utilizaram valores da altura média das ondas.

Segundo Stech e Lorenzetti (1992 apud Albino et al., 2016) e Pianca et al. (2010), as ondas mais frequentes na costa centro-sul do ES, associadas a tempo bom, estão no intervalo de 0,5 a 1,5 m, sendo 1 m a mais frequente. Enquanto, as ondas do quadrante sudeste, associadas às situações de tempestades, são menos frequentes, porém mais altas, atingindo 2 m. Dessa forma, foi atribuída a classe de baixa de sensibilidade costeira (classe 2) para toda a região de Vitória com relação à variável altura das ondas (Tabela 1).

Quanto à amplitude média da maré, em litorais sob regime de micromaré, as alturas extremas incomuns do nível da água sempre tendem a exceder os níveis da maré alta e, portanto, essas costas estão sempre sob maior risco à inundação por tempestades (Abuodha e Woodroffe, 2010a; Rogers e Woodroffe, 2016). O impacto das tempestades em relação à amplitude das marés é maior em um sistema de micromaré (Ozyurt e Ergin, 2010) e pode ser ampliado no interior de estuários, dependendo da morfologia estuarina (Dalrymple et al., 1992), pois as planícies de maré não são evoluídas o suficiente para modular as inundações das águas (Kirwan e Guntenspergen, 2010).

A amplitude máxima da maré representa o pior cenário temporário de elevação relativa do nível do mar. Contudo, a amplitude média da maré é o parâmetro mais frequentemente adotado para a avaliação da sensibilidade da costa (Gornitz, 1991; Abuodha e Woodroffe, 2006; Abuodha e Woodroffe, 2010a; Ozyurt e Ergin, 2010). Por isto, foi adotada a classificação proposta por Abuodha e Woodroffe (2010a), que considera as faixas de amplitude média da maré dentro do regime de micromaré, admitindo, que durante a maré de sizígia, há maior sensibilidade à inundação.

Em Vitória, a maré é semi-diurna varia entre 1,40 e 1,50 metros (Diretoria de Hidrografia e Navegação, DHN), 1994 *apud* Albino 1999; Rigo, 2004). Nas sizíguas, a amplitude de maré chega a 1,70 m e nas quadraturas a 0,70 m (Codesa 2007 *apud* Nunes, 2007). Para efeito de classificação para o ISC foi adotado o valor da amplitude média da maré, assumido o intervalo entre 1,40 e

1,50 m, ou seja, classe moderada de sensibilidade (classe 3) para toda a área de estudo.

Quanto à descarga fluvial, os rios com vazão muito baixa, especialmente aqueles inseridos num regime de micromaré, apresentam vulnerabilidade muito alta para os fenômenos de inundação permanente (*inundation*), erosão e inundação costeiras (*flooding*) ocasionados pelo aumento de tempestades e intrusão salina (Ozyurt e Ergin, 2010), principalmente durante a estação seca, quando a água do mar penetra para o interior através dos rios e canais (Hoang et al., 2012). As classes de vulnerabilidade definidas por Ozyurt e Ergin (2010) para a descarga fluvial parecem ser bastante apropriadas para a região de Vitória, que é caracterizada por rios com vazão média muito baixa. Segundo a Companhia Espírito Santense e de Saneamento (CESAN, disponível em <https://agerh.es.gov.br/>), os rios Santa Maria da Vitória e Jucu apresentam características físicas similares, tais como: área de captação (~2000 e 2200 km²), comprimento (132 e 166 km) e vazão (~18,7 m³/s ambos), respectivamente. Assim, foi adotada a classe de sensibilidade muito alta (classe 5) à inundação costeira para ambos os rios.

Quanto à declividade da costa, regiões costeiras de baixa inclinação tendem a inundar mais rapidamente do que as regiões mais íngremes (Pendleton et al., 2008). Esta variável representa o gradiente topográfico generalizado da zona costeira que inclui a topografia da parte emersa e a batimetria do litoral com critérios de distâncias variados (Pendleton et al., 2008; Abuodha e Woodroffe, 2010a). De todo modo, a carência de dados altimétricos de detalhe para a região da Grande Vitória conduziu para uma certa generalização da declividade.

Como o objeto de estudo se refere à planície fluviomarina e não apenas à linha de costa, foi considerada a declividade dos depósitos quaternários costeiros e área submersa adjacente com base na classificação proposta por Abuodha e Woodroffe (2010a). O mapa de declividade da área de estudo obtido a partir do MDE disponibilizado pelo projeto Copérnicus atribui inclinação da planície com valores abaixo de 6°, ou seja, classe muito alta de sensibilidade. O mapa batimétrico apresentado por Bastos et al. (2015) para a baía do ES (intervalo de 1 m) caracteriza a antepraia com declividade de cerca de 0,21° ou 0,37% (1:270) medida da linha de costa até a profundidade de 9 m, mantendo a classe 5 de sensibilidade. Devido à ausência de dados batimétricos para o litoral

de Vila Velha e assumindo o intervalo de classes já mencionado, foi adotado valor de inclinação geral $< 6^\circ$ para toda a área de estudo. Este é o motivo da declividade da costa ter sido classificada como uma variável geral, apesar de ser uma variável estrutural.

Com relação à definição da classe de sensibilidade para cada variável estrutural, vale lembrar que cada ponto de amostragem distribuído sobre a planície apresenta seu próprio nível de sensibilidade. Por isso, será apresentado a seguir a proposta de classificação ajustada para a região de Vitória.

Quanto ao relevo, a altitude das áreas litorâneas é uma variável universal para determinar a sensibilidade à inundação permanente e temporária, todavia o problema da baixa resolução e inconsistências dos dados topográficos é também uma barreira técnica em todo globo. Diversas classes altimétricas são definidas com diferentes níveis de vulnerabilidade, mas a definição do limite superior da cota mais baixa deve ser bem criteriosa, sustentado pela literatura, e sobretudo, focada nas características locais do ambiente e na disponibilidade de dados topográficos (Machado e Albino, 2023).

Para a região de Vitória foi considerado o limite superior da classe mais alta de sensibilidade (classe 5) com base na somatória dos valores relativos aos processos oceanográficos extremos capazes de influenciar na intrusão das águas costeiras dentro do estuário e da planície. Ou seja, foi considerada a amplitude da maré de sizígia local com o valor de 1,7 m (Codesa 2007 apud Nunes, 2007), somada ao valor positivo da maré meteorológica de 0,40 m (Nunes, 2007), mais a projeção de aumento do nível do mar de 1 m para 2100 (IPCC, 2007), totalizando 3,1 m de elevação temporária de água possível para o pior cenário de nível do mar. Neste caso, a altura das ondas não foi considerada, pois a inundação costeira considerada se dá à retaguarda de cordões arenosos relativamente largos e altos que não são comumente transpassados por ondas durante a tempestade, contudo, sem desmerecer o efeito das ondas no agravamento da inundação. Para efeito de simplificação, definiu-se as altitudes abaixo de 3 m como áreas de sensibilidade muito alta à inundação costeira. Os intervalos de altitude para as demais classes de sensibilidade foram inspirados na literatura (Gornitz, 1991; Bush et al. 1999), porém, ajustados às características geomorfológicas e topográficas da área de estudo (Tabela 1),

onde por exemplo, as planícies fluviomarinhas comumente situadas em cotas máximas em torno de 5 m, foram classificadas com alta sensibilidade.

Quanto à geologia-geomorfologia, as feições foram avaliadas em conjunto devido à forte conexão entre o material geológico e as formas de relevo (Machado e Albino, 2023) na área de estudo. No litoral do ES, as colinas e afloramentos compostos por rochas cristalinas do Neoproterozoico/Paleozoico, denominados aqui de rochas duras, caracterizados por um relevo acidentado ou suave, foram classificados com sensibilidade à inundação muito baixa (classe 1), justificado pelo aspecto geomorfológico situados em cotas topográficas geralmente mais altas. Neste grupo inclui os piemontes orientais apresentados nos mapas da CPRM (2013). Os tabuleiros do Paleógeno/Neógeno do Grupo Barreiras, denominados aqui como "rochas macias", caracterizados por material bem ou ligeiramente cimentado distribuídos na forma de colinas baixas, tabuleiros ou falésias (ativas ou não), cuja superfície inclina-se ligeiramente para o mar, foram classificados como baixo grau de sensibilidade   inundação (classe 2). Este compartimento geológico-geomorfológico   também apresentado pela CPRM (2013) como piemontes inundados.

Os depósitos quaternários arenosos de eleva o média (~5 m), como terraços arenosos fluviais, planícies aluviais, barreiras costeiras, depósitos marinhos litorâneos recentes (praia) e depósitos tecnogênicos foram incluídos na classe moderada de sensibilidade (classe 3). Os aterros foram enquadrados como grau moderado de sensibilidade porque normalmente elevam as costas altimétricas dos depósitos originais e são favorecidos por algum sistema de drenagem, anteriormente inexistente ou naturalmente deficiente por conta da litologia. Os depósitos de praias, apesar de estarem mais expostos aos processos oceanográficos, foram considerados de moderada sensibilidade para eventos inundacionais, já que as praias da região de Vitória e Vila Velha são do tipo intermediário e refletivo, caracterizados por moderada declividade da face da praia e com presença de cordões litorâneos largos ou dunas frontais   retaguarda (Albino et al., 2006). Destaca-se ainda que as bermas das praias e as estruturas urbanas   retropraia, como calçadas, estão situadas acima da cota de 3 m, ou seja, cota mais altas que o nível alagável e ainda as praias são compostas por depósitos arenosos muito permeáveis e já adaptados às altera es diárias e sazonais de energia e subida e descida do nível de mar. Já

os fenômenos erosivos sob os depósitos de praia devem ser incontestavelmente incluídos nas classes de alta sensibilidade.

Os depósitos quaternários do tipo planície de inundação ou terraço arenoso de baixa elevação (>3-5m), associados à área levemente deprimida na planície parcialmente ou temporariamente alagadas; além dos depósitos flúvio-lagunares foram incluídos na classe de alta sensibilidade à inundação (classe 4). Os depósitos quaternários úmidos, como brejos, pântanos salgados, manguezais, planícies lamosas, áreas com espelho d'água abertas à retaguarda como estuário, lagoa/laguna e rio foram definidas com sensibilidade muito alta (classe 5).

Quanto às feições sedimentares, as características texturais dos sedimentos podem compor uma variável que fica entre a geologia e a geomorfologia, já que o tamanho do grão é considerado como um atributo de segunda ordem por apresentar uma condição transicional entre estrutural e dinâmica (Silveira e Bonetti, 2019). Segundo Machado e Albino (2023), algumas variáveis parecem superpostas, sendo difícil utilizar os atributos sedimentológicos separadamente, e sim argumentam que a caracterização litológica dos depósitos inconsolidados é uma questão de escala de detalhe, onde é permitido um refinamento maior dos atributos.

Ainda, é forte a associação dos aspectos geológicos, geomorfológicos e sedimentológicos com a altitude na região de Vitória. As áreas compostas por rochas cristalinas foram classificadas com sensibilidade muito baixa (classe 1) à inundação, por estarem comumente associadas a cotas relativamente mais elevadas. As áreas compostas por rochas macias, representadas pelos sedimentos presentes nos depósitos do Grupo Barreiras e caracterizados por sedimentos argilo-arenosos, mal selecionados e ligeiramente cimentados por óxido de ferro, foram definidas como classe 2. Já os depósitos quaternários, os quais incluem planícies costeiras e acumulações fluviais (CPRM, 2013) e os depósitos tecnogênicos, os quais incluem os aterros, foram atribuídos às classes 3, 4 ou 5 de sensibilidade.

Na ausência de informação do tipo de aterro existente, foi adotado o aterro urbano como padrão, por ser o mais comumente empregado. É válido lembrar que apenas Vitória consta com mapeamento detalhado dos tipos de aterros realizados no município, disponível em Machado et al. (2018a). Os dados

disponíveis em Vila Velha são bastante gerais e por isto adotou-se a utilização dos dados sedimentológicos de campo obtidos pelo Projeto FAPES/CAPES Nº 009/2014; T.O. 0667/2015 e Ribeiro e Jacob (2018).

Os sedimentos arenosos (areia grossa e areia média), bem ou mal selecionados, sem matéria orgânica, permeáveis, com boa drenagem e os aterros urbanos foram definidos como classe moderada de sensibilidade (classe 3). Esta classe inclui os depósitos marinhos litorâneos recentes (sedimentos arenosos bem selecionados) denominados pela sigla Q2li nos mapas geológicos (CPRM, 2013). Os sedimentos areno-lamosos e lama-arenosa (composto principalmente por areia fina, silte ou argila), mal selecionados, com conteúdo variado de matéria orgânica, permeabilidade variável, drenagem moderada a pobre, além do aterro dragado foram definidos como classe alta de sensibilidade (classe 4). O sedimento lamoso como as argilas de pântanos salgados soterrados, turfas, com alto conteúdo de matéria orgânica, permeabilidade ruim e drenagem muito pobre, além de aterros de lixo foram definidos como classe muito alta de sensibilidade (classe 5).

As características sedimentológicas discriminada nesta variável são de sedimentos superficiais (20 e 40 cm de profundidade) coletados em campo, disponíveis em Machado et al. (2016), Machado et al. (2018b) e Machado e Pinheiro (2021). Pontos de amostragem desprovidos de dados *in situ* foram classificados com base na semelhança física de ambientes visualmente idênticos.

Quanto à proximidade da linha de costa, a proximidade do oceano e rios pode determinar partes mais sensíveis à inundação do que outras na região costeira (Ishtiaque et al., 2019), principalmente aquelas mais rebaixadas (Muehe e Neves, 2007; Lins-de-Barros e Muehe, 2010; Rogers e Woodroffe, 2016). Contudo, em uma costa abrigada como estuários e lagunas, a inundação devido ao aumento relativo do nível do mar pode ser ampliada à medida que a água do mar é canalizada para áreas mais internas. Neste caso é aconselhável considerar os limites internos destes ambientes como a linha de costa de referência para a medição (Machado e Albino, 2023).

A região de Vitória possui a costa abrigada e estuário muito restrito, o que pode facilitar a inundação na parte interna da planície costeira, aparentemente distante do mar. Neste caso, foi considerada a menor distância em linha reta do

ponto de amostragem para o mapeamento até a costa ou até a margem do estuário, independente dos obstáculos topográficos. Esta medição foi feita por meio da ferramenta de régua disponível nos programas de SIG. As classes de sensibilidade de proximidade da linha de costa adotadas para a região de Vitória foi a mesma proposta por Ozyurt e Ergin (2010), (Tabela 1).

Quanto à proximidade do rio, as classes de sensibilidade propostas por Ozyurt e Ergin (2010) para proximidade da linha de costa foram aplicadas também para a proximidade de corpos aquosos (Tabela 1). Para região de Vitória foram considerados apenas os cursos de água principais, os córregos permanentes, o canal estuarino, as lagoas/lagunas e os canais retificados. O cálculo da distância entre os pontos de amostragem e o curso d'água mais perto foi feito por meio da ferramenta de régua disponível no SIG. O *shapefile* cursos de água da região Metropolitana da Grande Vitória foi utilizado por apresentar a malha hidrográfica mais precisa e detalhada da região. Na ausência de dados, em pequenos trechos da área de estudo foi utilizado o arquivo vetorial (*shapefile*) de cursos de água disponível para o estado do ES (fonte: GEOBASES).

Índice de Sensibilidade Costeira à inundação da região de Vitória

Numa avaliação conjunta das variáveis gerais, a região de Vitória pode ser classificada como grau alto a muito alto de sensibilidade à inundação costeira. A variável subida do nível do mar classifica o litoral de Vitória com alto a moderado grau de sensibilidade, conforme a estimativa de elevação de 2,35 mm/ano e os limites das classes adotados. Porém, ao se analisar isoladamente a altura média das ondas na região de Vitória, a costa Centro-sul do ES assume a classe baixa de sensibilidade, devido às ondas relativamente baixas, sendo 1 m as mais frequentes. Por outro lado, o regime de micromaré potencializa a sensibilidade à inundação e classifica o litoral com grau moderado de suscetibilidade, uma vez que elevações extremas incomuns do nível de água, como tempestades e maré meteorológica, poderão exceder mais facilmente os níveis de maré alta. A variável relacionada à vazão fluvial, quando comparada à literatura, estabelece para a região de Vitória o grau muito alto de sensibilidade à inundação costeira, pois os principais cursos d'água (rios Santa Maria da Vitória e Jucu) apresentam descarga muito baixa, em torno de 18,7 m³/s, favorecendo a intrusão de águas marinhas em cenários de subida relativa do nível do mar, especialmente em um

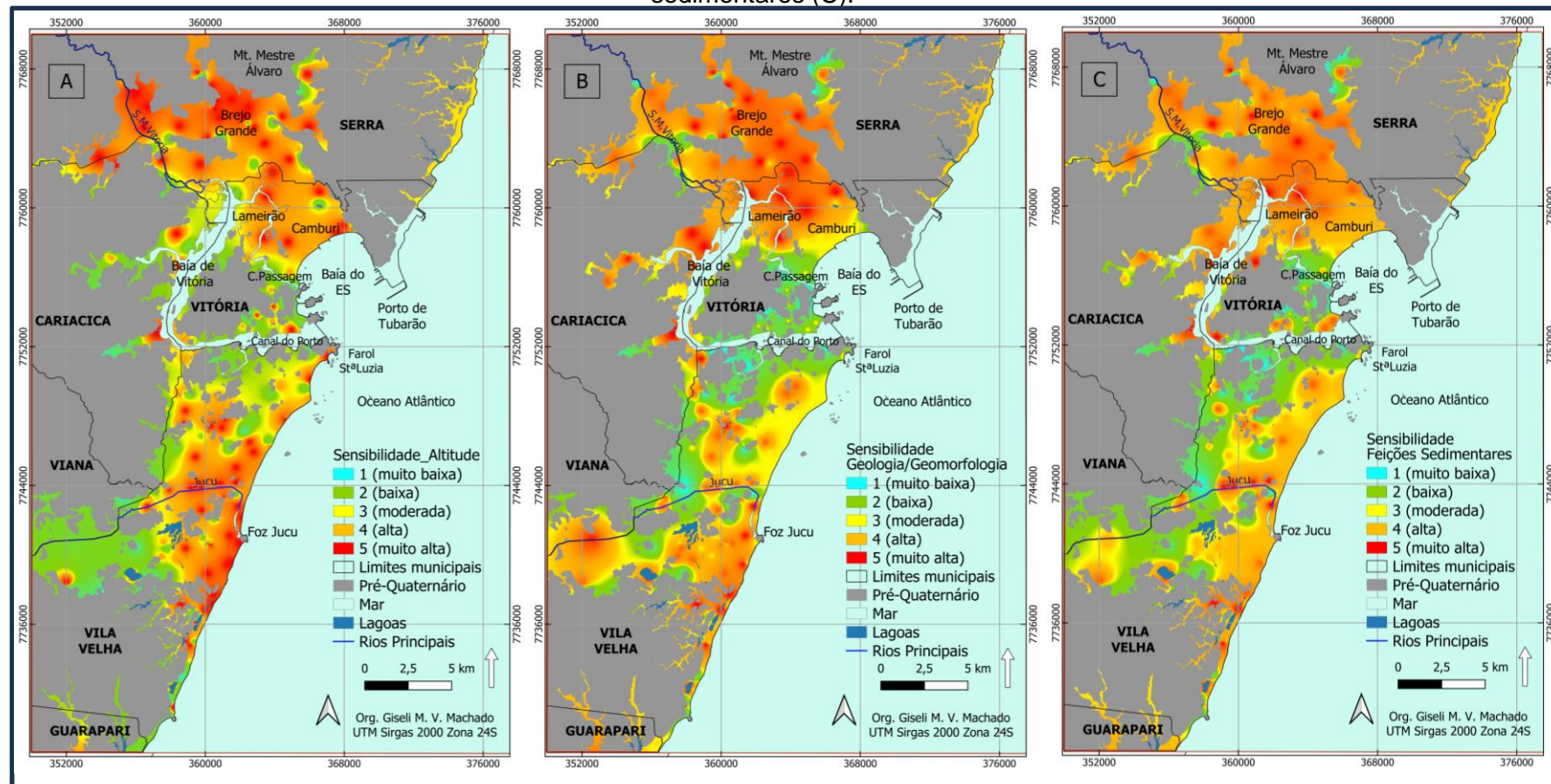
litoral com declividade abaixo de 6°, consolidando assim, a alta sensibilidade para esta variável.

A distribuição dos depósitos fluviomarinhos quaternários, espacialmente limitados e a topografia, facilmente observadas na Figura 1, permitem ter a compreensão da dimensão das áreas de maior sensibilidade à inundação costeira. Para poder dar maior visibilidade somente à planície, as unidades geológicas pré-quaternárias foram generalizadas nas Figuras 2, 3 e 4 (cor cinza), sem qualquer classificação da sensibilidade.

A altitude é sem dúvida, a primeira variável avaliada no potencial de sensibilidade à inundação costeira. Os resultados ilustrados na Figura 2A, que foram obtidos por meio da interpolação das cotas altimétricas obtidas para cada ponto de amostragem e limitadas à malha amostral, podem apresentar falhas na representação e devem ser usadas com cautela. Como por exemplo, a parte interna (porção oeste) da planície de Vila Velha aparece como classe baixa de sensibilidade, apesar de inserida na planície de inundação do rio Jucu. De todo modo, há a identificação das áreas sensíveis, ilustradas pelas cores quentes, localizadas em praticamente toda porção Centro-leste da planície de Vila Velha; nas terras baixas e úmidas na região do Brejo Grande (Serra) e arredores da ilha do Lameirão (fundos da baía de Vitória), correspondendo ao baixo curso do rio Santa Maria da Vitória; e também na planície de Camburi.

Na variável relacionada às feições geológicas e geomorfológicas, as áreas verdes e azuis no mapa (Figura 2B) correspondem ao predomínio de colinas e afloramentos rochosos e de tabuleiros do Grupo Barreiras, por isso ilustram a baixa sensibilidade relativa aos fenômenos inundacionais. As áreas mais sensíveis (cores quentes) correspondem aos depósitos situados em áreas levemente deprimidas, temporária ou permanentemente alagadas, as chamadas terras úmidas. As cores amarelas no mapa ilustram as áreas com moderada sensibilidade, representada pela presença de depósitos quaternários arenosos marinhos ou fluviais e os depósitos tecnogênicos.

Figura 2. Sensibilidade à inunda o costeira na região de Vitória para as variáveis altitude (A), geologia-geomorfologia (B) e fei es sedimentares (C).



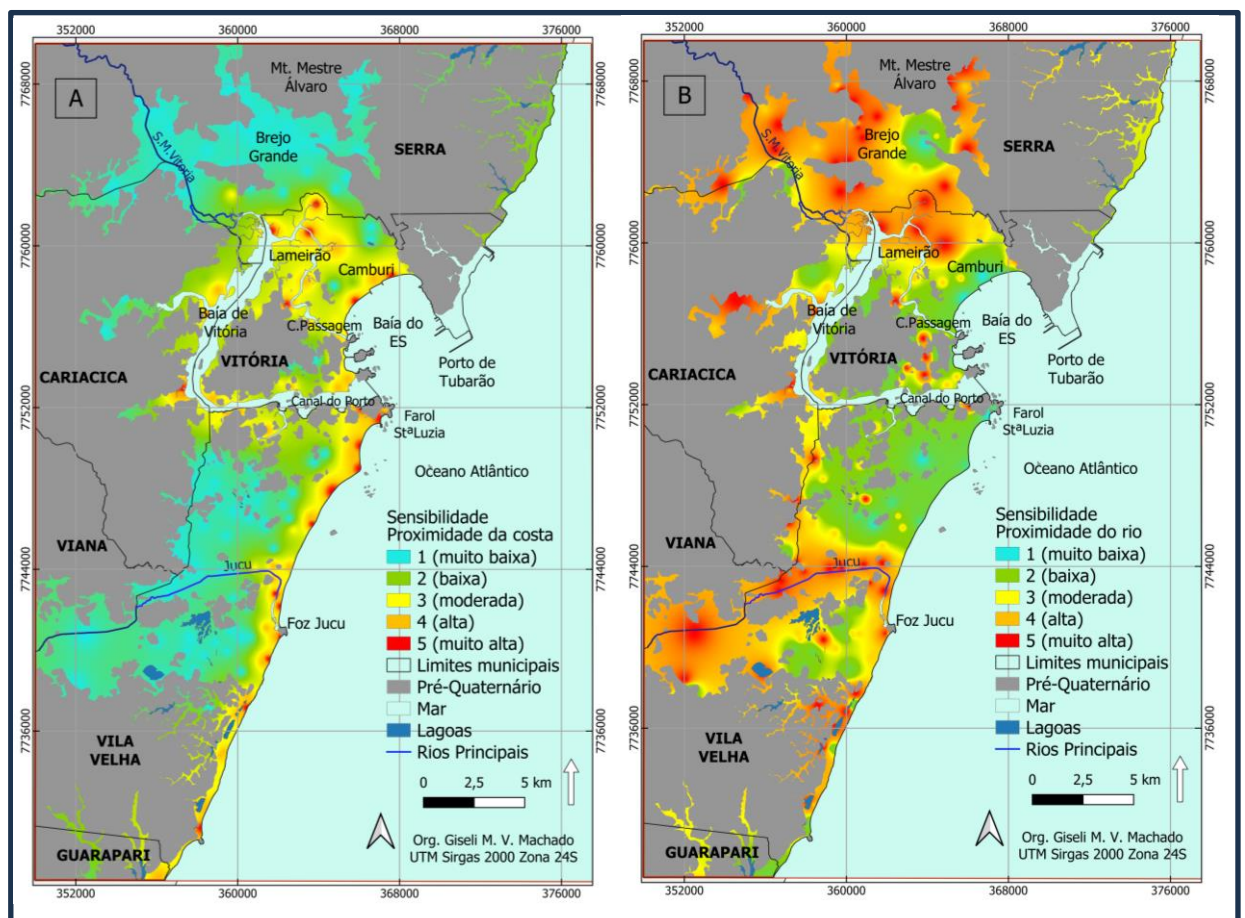
As feições sedimentares caracterizam com maior propriedade o material sedimentar presente na superfície dos depósitos quaternários, porém é muito grande a similaridade com a variável geologia/geomorfologia (Figura 2C). Diferença maior foi observada na ilha de Vitória, onde os depósitos tecnogênicos foram discriminados em termos de tipos distintos de aterro, o que permitiu maior detalhamento da sensibilidade. As áreas de aterro sanitário e hidráulico podem potencializar a sensibilidade à inundação costeira, enquanto, as áreas com aterro urbano podem atenuar o efeito deste fenômeno quando realizados sobre áreas originalmente mais sensíveis como os depósitos de planície de inundação ou pântanos salgados. Isto se explica pela elevação construída dos depósitos tecnogênicos maior em relação ao depósito natural. Contudo, estas afirmações devem ser usadas com muita cautela, pois os aterros podem ser fator limitante a qualquer tentativa de readaptação dos ecossistemas costeiros à uma subida do nível do mar (Machado et al., 2018b).

A proximidade da linha de costa, expressa de maneira direta a relação de causa e efeito de um fenômeno costeiro e seu potencial maior de atingir as zonas mais próximas do mar. No entanto, em costas reentrantes, o prolongamento dos efeitos de uma inundação costeira vai além da linha de praia, onde a ação dos processos oceanográficos nem sempre é direta. Este é o caso da baía de Vitória que expõe áreas mais internas, não defrontantes com o mar, à maior sensibilidade à inundação (Figura 3A). Neste caso, os contornos do estuário até cerca de 400 m em direção ao continente são classificados com sensibilidade alta e muito alta.

A variável proximidade do rio, estuário ou outro curso d'água permanente revela que quase a totalidade da área de estudo está sensível aos efeitos inundacionais. A rede de drenagem pouco competente, porém densa, acomoda áreas úmidas temporária ou permanentemente alagadas ao entorno. Estas áreas, localizadas em terrenos de baixa drenagem, estão sob influência da vazão fluvial e da precipitação, interferindo diretamente no nível do lençol freático. O nível freático é fator controlador do acúmulo de água potencializado pela presença de sedimento fino e com elevados teores de matéria orgânica. Em outras palavras, áreas mais próximas aos cursos

d'água, situadas em áreas levemente deprimidas na planície, dificultam a drenagem e, portanto, são mais sensíveis à inundação. Contudo, as vazões dos rios Jucu e Santa Maria da Vitória, quando somadas, ainda permanecem na categoria de rios de baixíssima descarga fluvial (<50 m³/s), o que aumenta os efeitos das inunda es impulsionadas pela subida relativa do nível do mar conduzida pela dinâmica das marés. Diferentemente da variável proximidade da costa, a proximidade do rio mostrou o forte potencial hidrológico e maior sensibilidade relativa nas áreas mais internas da área de estudo.

Figura 3. Sensibilidade   inunda o costeira na região de Vitória para as variáveis proximidade da costa (A) e do rio (B).



A integra o das variáveis de processos (gerais) e estruturais (pontuais) por meio da Equa o (1) gerou o mapa síntese com  ndice de Sensibilidade Costeira (Figura

4). Ficou evidente que os resultados obtidos da sensibilidade à inundação costeira sobre a planície são complexos. É esperado classes mais altas de sensibilidades junto à costa, porém, existem as outras variáveis tão importantes que estendem a alta sensibilidade para áreas mais internas da planície. Apesar da metodologia adotada não atribuir pesos de importância diferenciados para cada variável, nota-se claramente que a presença do sistema estuarino confinado é o fator determinante para o prolongamento da sensibilidade para o interior.

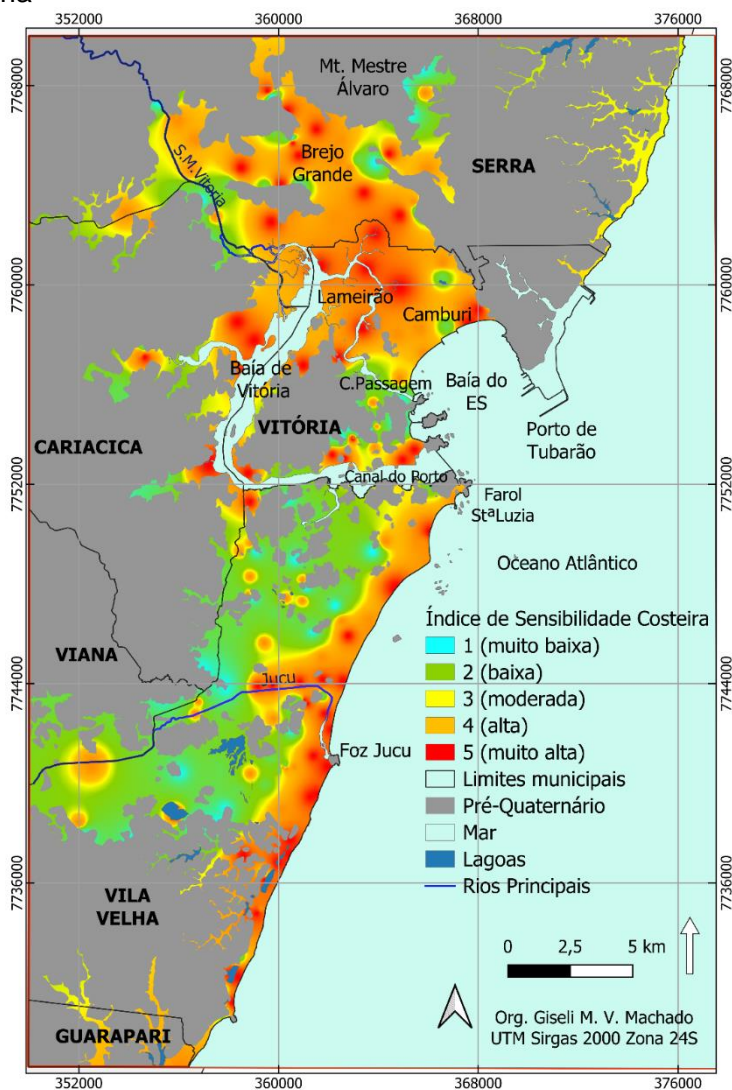
As áreas mais sensíveis à inundação costeira, classificadas com grau alto e muito alto estão concentradas nas seguintes localidades (Figura 4): 1) ao longo da linha de costa leste do município de Vila Velha (cerca de 800-1.500 m adentrando para o continente); 2) áreas adjacentes à foz do rio Jucu (cerca de 200-900 m para cada lado do canal num trecho aproximado de 6 km a partir da desembocadura); 3) fundos da baía de Vitória, região mais abrigadas onde o manguezal é mais desenvolvido (localidade da ilha do Lameirão e foz do rio Santa Maria da Vitória), incluindo trechos dos municípios de Cariacica, Vitória (zona norte-noroeste) e Serra; 4) região do Brejo Grande (Serra), que se estende até a base do relevo Pré-Quaternário; 5) planície de Camburi, especialmente a parte interna que se conecta ao manguezal de Vitória; 6) periferia da ilha de Vitória que abrange a parte sul da ilha voltada para o canal do porto de Vitória, a localidade onde há inflexão do canal do Porto com mudança do sentido leste-oeste para sudoeste-nordeste, e também o lado oeste da ilha, onde está consolidada a urbanização sobre o manguezal.

As áreas classificadas com baixa e muito baixa sensibilidade à inundação costeira correspondem são aquelas sob influência das feições geológicas e geomorfológicas pré-quaternárias, além da parte interna da planície de Vila Velha. As áreas de moderada de sensibilidade são aquelas localizadas na transição entre as classes extremas mencionadas acima (Figura 4).

É importante ter ciência que as áreas pontuais de classe alta a muito alta de sensibilidade, simbolizam a localização exata do ponto de amostragem com o ISC elevado. Isto não significa que áreas adjacentes, ilustradas com classe baixa (cores

verdes), sejam de fato áreas tão menos sensíveis, mas sim, podem refletir a distribuição da malha amostral. Além disso, a opção metodológica de não atribuição de pesos de maior ou menor importância relativa de cada variável para o fenômeno estudado, interroga a baixa sensibilidade apresentada para boa parte oeste da planície de Vila Velha, pois esta região está situado no reverso dos depósitos arenosos marinhos relativamente mais altos (~5 m de altitude), que declinam topograficamente em direção ao continente, onde atingem cotas em torno de 1 m de altitude, o que sugeriria uma sensibilidade um pouco maior.

Figura 4- Mapa síntese de Índice de Sensibilidade Costeira (ISC) à inundação na região de Vitória



Considerações finais

A região de Vitória apresentou grau alto a muito alto de sensibilidade à inundação costeira quando analisado o conjunto das variáveis de processos (gerais): taxa de aumento do nível do mar, altura média das ondas, amplitude média da maré, descarga fluvial e também declividade da costa, apesar desta última se referir à uma variável estrutural.

A distribuição limitada e encaixada dos depósitos quaternários na região de Vitória e as cotas topográficas da planície já direcionam a atenção para o potencial natural alto de inundação costeira. Ao avaliar a sensibilidade da planície quaternária por meio de variáveis estruturais como relevo/altitude, geologia-geomorfologia, feições sedimentares, proximidade da linha de costa e proximidade do rio, foi possível notar graus diferenciados de sensibilidade em grande parte da área de estudo, pois cada uma dessas variáveis exerce influência parcial na sensibilidade. Os depósitos quaternários como planícies de inundação fluvial, terraços arenosos de baixa elevação, terras úmidas que inclui áreas levemente deprimidas e temporariamente alagadas, depósitos lagunares e principalmente, banhados e manguezais, são as feições geomorfológicas mais sensíveis aos fenômenos inundacionais costeiros. Comumente, a sensibilidade é maior em terrenos compostos por sedimentos lamosos e depósitos de turfa, caracterizados pelo alto conteúdo de matéria orgânica, permeabilidade ruim e drenagem muito pobre. Seguidos também, pelos depósitos areno-lamosos e lama-arenosa (areia fina, silte ou argila), mal selecionados, com conteúdo variado de matéria orgânica, permeabilidade variável e drenagem moderada a pobre. Contudo, a proximidade da costa também é um fator muito importante para o aumento da suscetibilidade à inundação, mas que pode ser estender para áreas mais internas em litorais bastante abrigados e com presença de um sistema estuarino, como é o caso de Vitória. Em baías e estuários, como o caso estudado, a proximidade do rio também assume papel importante de ampliação das áreas mais sensíveis à inundação costeira. De todo modo, a altitude do terreno é fator decisivo para que qualquer umas dessas outras variáveis possam ser importantes ou não.

Destacam-se, portanto, como áreas não defrontantes com o mar, porém bastante suscetíveis à inundação costeira, a localidade do Brejo Grande (Serra) e as adjacências ao longo do rio Jucu próximo à foz. Estas regiões são parcialmente conectadas pela topografia e pelos canais fluviais aos sistemas estuarinos de Vitória e Jucu, respectivamente, o que permite uma expansão inundacional natural continente adentro num cenário de subida relativa do nível do mar. A região do manguezal de Vitória, especialmente a localidade do Lameirão em Vitória e a periferia da ilha de Vitória voltada para o canal do Porto e para o canal oeste do estuário, podem ser consideradas como áreas próximas da costa mais sensíveis   inundação, além de todo litoral leste de Vila Velha.

Assim, o mapa de sensibilidade   inundação costeira apresentado para a região de Vitória apresenta-se compatível com as áreas historicamente relatadas de eventos inundacionais ocasionados pela combinação de processos oceanográficos e de precipitação elevada, os quais, juntos impedem o escoamento fluvial e pluvial para o mar. Este cenário é, portanto, mais grave para áreas bastante sensíveis como as terras  midas.

A limita o quanto   precisão de delimita o de algumas áreas deve ser considerada, como a porção oeste da planície de Vila Velha, que merece maior detalhamento, especialmente em rela o   amostragem de dados distribuídos sobre a planície. Da mesma forma, outras variáveis importantes merecem ser incluídas, como por exemplo, a profundidade do lençol freático e dados de precipitação, além de atribuir pesos específicos relativos ao grau de importância que cada variável exerce sobre o fenômeno estudado.

Por isso, é complexa a identifica o precisa de áreas de inundação futura devido às muitas incertezas associadas à compreensão do fenômeno analisado, bem como da metodologia empregada, o que pode conduzir para uma classifica o de sensibilidade comprometedora, tanto no sentido de expor a sociedade ao risco como de impor a sociedade uma restri o desnecessária. Neste contexto, a necessidade de pesquisa inter e transdisciplinar está se tornando amplamente reconhecida para

avaliar a vulnerabilidade das zonas costeiras, onde as discussões se concentram em explorar as ligações entre ecossistemas e sociedades humanas, e a capacidade desses sistemas se adaptarem às incertezas e regenerar após desastres naturais.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelas bolsas de pós-doutoramento da primeira autora. A primeira bolsa (Edital FAPES/CAPES 9/2014, nº 0667/2015) contribuiu com a aquisição e coleta da base cartográfica e de informações geológicas, geomorfológicas e litológicas da área de estudo; e a segunda bolsa (Edital FAPES/CAPES 10/2018, nº 386/2018) contribuiu com o aprimoramento teórico e metodológico acerca da vulnerabilidade costeira, bem como a oportunidade de intercâmbio internacional na Universidade de *Wollongong*, na Austrália, durante o período de estudo como pesquisadora visitante.

REFERÊNCIAS

- ABUODHA, P.; WOODROFFE, C.D. Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index: southeast Australia. **J. of Coastal Conservation**, 14: 189-205, 2010a.
- ABUODHA, P.; WOODROFFE, C.D. Vulnerability assessment. In: GREEN, D.R. (Ed.) **Coastal Zone Management**. Thomas Telford Ltd, London, p. 262-290. 2010b.
- ABUODHA, P.; WOODROFFE, C.D. Assessing vulnerability of coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian coast. In: WOODROFFE CD, BRUCE, E, PUOTINEN, M.; FURNESS RA (Eds). **GIS for the Coastal Zone: A selection of Papers from CoastGIS 2006**, Australian Nat. Centre for Ocean Resources and Security University of Wollongong, Australia, 458p, 2007.
- ALBINO, J.; NETO, N.C.; OLIVIERA, T.C.A. The beaches of Espirito Santo. In: SHORT, A.D. e KLEIN, A.H.F. (org.). **Brazilian Beach Systems**, 17: 333-361, 2016.

ALBINO, J.; GIRARDI, G.; NASCIMENTO, A. K. Atlas de erosão e progradação costeira do litoral do Espírito Santo. In: MUHE, D. (org). **Atlas de erosão e progradação do litoral brasileiro**. MMA. Brasília-DF, 2006.

ALBINO, J. Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES. Tese de doutoramento - Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências USP, São Paulo, 1999.

BALICA, S. F.; WRIGHT, N. G.; MEULEN, F. VAN DER. A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. **Nat Hazards**, 64:73-105, 2012.

BAKER, R.G.V; HAWORTH, R.J.; FLOOD, P.G. Warmer or cooler late Holocene marine paleoenvironmental conditions? Interpreting southeast Australian and Brazilian sea level changes using fixed biological indicators and their $\delta^{18}O$ composition. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoeocology**, 168: 249-272, 2001.

BAKER, R.G.V; HAWORTH, R.J. Smooth or oscillating late Holocene sea level curve? Evidence from the paleo-zoology of fixed biological indicators in east Australia and beyond. **Marine Geology**, 163: 367-386, 2000.

BASTOS, A.C.; MOSCON, D.M.C.; CARMO, D.; NETO, J.A.B.; QUARESMA, V.S. Modern sedimentation processes in a wave-dominated coastal embayment: Espírito Santo Bay, southeast Brazil. **Geo-Mar Letters**, 35: 23-36, 2015.

BASTOS, A.C.; VILELA, C.G.; QUARESMA, V.S.; ALMEIDA, F.K. Mid to Late-Holocene estuarine infilling processes studied by radiocarbon dates, high resolution seismic and biofacies at Vitória Bay, ES, Brazil. **Anais da Acad. Bras. de Ciências**, 82 (3):761-770, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, MMA. **Resolução CONAMA 303 de 20/03/2002**. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

BUSH, D.M.; NEAL, W.J.; YOUNG, R.S.; PILKEY, O.H. Utilization of geoinicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, 42: 647-670, 1999.

COELHO, A.L.N.; FERREIRA, G.A.C. Geotecnologias aplicadas em área inundável: o caso de Brejo Grande, Serra-ES. **Geo Textos**, 7 (1):159-183, 2011.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Mapas geológicos e geomorfológicos e dados topográficos do estado do Espírito Santo**, 2013. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/>

DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. Estuarine facies models: conceptual Basis and stratigraphic implications. **J. of Sedimentary Petrology**, 62: 1130-1146, 1992.

DEINA, M.A.; COELHO, A.L.N. As inundações no município de Vila Velha e a importância das bacias hidrográficas no suporte ao planejamento. **Revista Geonorte**, Ed.Esp. 4, 10 (1): 198-203, 2014.

DEINA, M.A.; COELHO, A.L.N. Análise das Áreas Inundáveis no Baixo Rio Jucu em Vila Velha (ES) com Imagens Temporais CBERS 2B/CCD. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, Vitória (ES), 8 a 12 de julho, 2013.

FANNING, D.J.; FANNING, M.C.B. **Soil: Morphology, Genesis and Classification**. John Wiley e Sons, New York, 1989.

GORNITZ, V. Global coastal hazards from future sea level rise. **Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, 89: 379-398, 1991.

HARVEY, N.; WOODROFFE, C.D. Australian approaches to coastal vulnerability assessment. **Sustain Sci**, 3:67–87, 2008.

HOANG, H.N.; HUYNH, H.X.; NGUYEN, T.H. Simulation of salinity intrusion in the context of the Mekong Delta Region (Viet Nam). 978-1-4673-0309-5/12/\$31.00 ©2012 IEEE, 2012.

IPCC. **Climate change 2013: the physical science basis**. Cambridge University Press, Cambridge, 2013.

IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the 4th Assessment Report of the Intergov. Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. Geneva, Switzerland, 104 p, 2007.

ISHTIAQUE, A.; EAKIN, H.; CHHETRI, N.; MYINT, S.W.; DEWAN, A; KAMRUZZAMAN, M. Examination of coastal vulnerability framings at multiple levels of governance using spatial MCDA approach. **Ocean & Coastal Management**, 171: 66-79, 2019.

JACOB, K.; GORNITZ, V.; ROSENZWEIG, C. Vulnerability of the New York City Metropolitan Area to Coastal Hazards, Including Sea-Level Rise: Inferences for Urban Coastal Risk Management and Adaptation Policies. In: McFADDEN, L.; NICHOLLS, R.J.;

PENNING-ROUSELL, E.C. (Eds.). **Managing Coastal Vulnerability**. Amsterdam: Elsevier Science, cap. 9, 2007.

KIRWAN, M.L.; GUNTENSPERGEN, G.R. Influence of tidal range on the stability of coastal marshland. **J. of Geophysical Research**, 115, F02009, 2010.

KLEIN, R.J.T.; NICHOLLS, R.J. Assessment of Coastal Vulnerability to Climate Change. **Ambio**, 28 (2), 1999.

KLEIN, A.H.F.; SHORT, A.D. Brazilian Beach Systems: introduction. In: SHORT, A.D.; KLEIN, A.H.F. (org.). **Brazilian Beach Systems**. v.17. Florida: Springer, p.1-36, 2016.

LEAL, K.B; ROBAINA L.E.S.; DE LIMA, A.S. Coastal impacts of storm surges on a changing climate: a global bibliometric analysis. **Natural Hazards**, 114:1455–1476, 2022.

LINS-DE-BARROS, F.M.; MUEHE, D. Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. **Quaternary Envir. Geosc.**, 02 (1): 55-66, 2010.

MACHADO, GMV; ALBINO, J. Avaliação conceitual e síntese de ferramentas metodológicas na determinação de sensibilidade à erosão e inundação costeira. **Rev. Dep. de Geografia da USP**, 43:1-26, 2023, DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.197486

MACHADO, G.M.V.; PINHEIRO, B.L. Depósitos fluviais e marinhos na zona costeira: uma abordagem sedimentológica e morfológica da região de Vitória, ES. **Geografares**, 33 (1): 229-258, 2021.

MACHADO, G. M. V. Análise sedimentar como ferramenta de reconstituição paleoambiental: exemplo da evolução de uma baía para estuário. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F.M.; PINHEIRO L. S. **Geografia marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos (Orgs.)**. 1 ed. Rio de Janeiro: Caroline Fontelles Ternes. Cap. 8, 2020.

MACHADO, G. M. V.; BASTOS, A. C.; ALBINO, J. Late Quaternary evolution model for a coastal embayment with low sediment input and bedrock control (southeast Brazil). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, SI 243 (106905): 1-12, 2020.

MACHADO, GMV; JABOR, PM; COELHO, ALN; ALBINO, J. Geohistorical evolution and the new geological map of the city of Vitoria (ES), Brazil. **Ocean & Coastal Manag.**, 151: 45-52, 2018a.

MACHADO, G.M.V.; BASTOS, A.C.; FREITAS, A. S.; BAPTISTA NETO, J. A. Sedimentary, geochemical and micropaleontological responses to sea level variations in the Vitoria estuary, Espírito Santo. **Radiocarbon**, p. 1–18, 2018b.. DOI:10.1017/RDC.2018.5

MACHADO, GMV; ALBINO, J; LEAL, AP; BASTOS, CB. Quartz grain assessment for reconstructing the coastal palaeoenvironment. **J. of South Am. Earth Sciences**, 70: 353-367, 2016.

MAHIQUES, M.M.; SOUZA, L.A.P. Shallow seismic reflectors and upper Quaternary sea level changes in the Ubatuba region, São Paulo, Brazil. **Rev. Bras. Oceanogr.**, 47(1):1-10, 1999.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M.; ARCHANJO, J.D. Coastal Quaternary formations of the southern part of the State of Espírito Santo (Brazil). **An. Acad. Bras. Cien.** 68 (3): 389-404, 1996.

MUEHE, D.; NEVES, C.F. Impactos potenciais da mudanças climáticas na cidade do Rio de Janeiro e possíveis ações de mitigação. Instituto Pereira Passos para subsidiar os debates do Seminário de Reação: **Rio Próximos 100 anos**, Prefeitura do Rio de Janeiro, 2007.

NAGESWARA RAO, K.; SUBRAELU, P.; VENKATESWARA RAO, T.; MALINI, B.H.; RATHEESH, R.; BHATTACHARYA, S.; RAJAWAT, A.S; AJAI. Sea-level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast, India through remote sensing and GIS. **J. Coastal Conservation**, 12:195–20, 2008.

NGUYEN, T.T.X.; BONETTI, J.; ROGERS, K.; WOODROFFE, C.D. Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. **Ocean & Coastal Management**, 123: 18-43, 2016.

NICHOLLS, R.J.; WONG, P.P.; BURKETT, V.R.; CODIGNOTTO, J.; HAY, J.; MCLEAN, R.; RAGOONADEN, S.; WOODROFFE, C.D. Coastal systems and low-lying areas. In: PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P.; VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. (Eds.) **Climate change: impacts, adaptation and vulnerability**. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, UK, Cambridge University Press, Cap.6:315-356, 2007.

NICHOLLS, R. J.; MIMURA, N. Regional issues raised by sea-level rise and their policy implications, **Climate Research**, 11:5–18, 1998.

NUNES, A.L. **Determinação das marés meteorológicas na região da Baía do Espírito Santo e sua influência na drenagem de águas continentais**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 133 p., 2007.

OZYURT, G.; ERIGIN, A. Improving coastal vulnerability assessments to sea-level rise: a new indicator-based methodology for decision markes. **J. of Coastal Research**, 26 (2): 265-273, 2010.

PENDLETON, E.A.; THIELER, E.R.; WILLIAMS, S.L. **Coastal Vulnerability Assessment of Cape Hatteras National Seashore (CAHA) to Sea-Level Rise**. United States Geological Survey (USGS), U.S. Geological Survey, Open-File Report 2004-1064, Virginia, 2008.

PIANCA, C.; MAZZINI, P.L.F.; SIEGLE, E. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. **Braz J Oceanography**, 58 (1): 53–70, 2010.

RIBEIRO, C. S.; JACOB, L. F. Estudo da classificação hidroquímica e avaliação preliminar da salinização das águas subterrâneas da região costeira da bacia hidrográfica do rio Jucu, ES. Monografia de Graduação. Curso de Geologia, Universidade de Vila Velha, Vila Velha, 87p, 2018.

RIGO, D. Análise do escoamento em regiões estuarinas com manguezais – medições e modelagem na baía de Vitória, ES. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

- ROGERS, K.; WOODROFFE, C.D. Geomorphology as an indicator of the biophysical vulnerability of estuaries to coastal and flood hazards in a changing climate. **Journal Coastal Conservation**, 20: 127–144, 2016.
- SERAFIM, M.B.; BONETTI, J. Vulnerability of Santa Catarina beaches to coastal erosion and flooding: a methodological approach based on a multicriterial index. **Quater.Envir.Geosc.**, 08: 36-54, 2017.
- SILVEIRA, Y.G.; BONETTI, J. Assessment of the physical vulnerability to erosion and flooding in a sheltered coastal sector: Florianópolis Bay, Brazil. **J. of Coastal Conservation**, 23: 303-314, 2019.
- SOARES, F.F.; COELHO, S.M.M.; ROSA, T.S. Sustentabilidade urbana em Vila Velha, (ES): ações do ator estatal para redução de riscos socioambientais. **Revista Científica Foz**, 1(3): 40-55, 2019.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L. Quaternary marine formations of the state of São Paulo and southern Rio de Janeiro. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY. Special publication nº1. The Brazilian National Working Group for the IGCP-Project 61, Sep 11-18, São Paulo, 1978.
- STEVENS, H. R.; KIEM, A.S. Developing hazard lines in response to coastal flooding and sea level change. **Urban Policy & Research**, 32:3, 341-360, 2014.
DOI:10.1080/08111146.2013.877388
- SZLAFSTEIN, C.F. Climate change, Sea-level rise and Coastal Natural Hazards: A GIS-Based Vulnerability Assessment, Pará, Brazil. In: HUMAN SECURITY AND CLIMATE CHANGE AN INTERNATIONAL WORKSHOP, Holmen Fjord Hotel, Asker, near Oslo, 21–23 June, 2005.
- VERONEZ, J.R.P.; BASTOS, A.C.; PIZZIN, B.F.; GAVA, R.D.; QUARESMA, V.S.; SILVA, C.G. Sonar de varredura lateral e sísmica de alta resolução aplicados no estudo de ecofácies na baía de Vitória, ES. **Rev. Brasileira de Geofísica**, 27 (3): 411-425, 2009a.
- VERONEZ, JR.P.; BASTOS, A. C.; QUARESMA, V. S. Morfologia e distribuição sedimentar em um Sistema Estuarino Tropical: Baía de Vitória, ES. **Rev. Bras. de Geofísica**, 27 (4): 609- 624, 2009b.
- ZIEGLER, A.D; SHE, L. H.; TANTASARIN, C.; JACHOWSKI, N. R.; WASSON, R. Floods, false hope, and the future, **Hydrological Processes**, 26(11), 2012.

NOTAS DE AUTOR

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Giseli Modolo Vieira Machado – Concepção, Coleta de dados, Análise de dados, Elaboração do manuscrito, Revisão e aprovação da versão final do trabalho

Jacqueline Albino- Análise de dados. Elaboração do manuscrito. Participação ativa da discussão dos resultados.

FINANCIAMENTO

Apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelas bolsas de pós-doutoramento da primeira autora. A primeira bolsa (Edital FAPES/CAPES 9/2014, nº 0667/2015) contribuiu com a aquisição e coleta da base cartográfica e de informações geológicas, geomorfológicas e litológicas da área de estudo; e a segunda bolsa (Edital FAPES/CAPES 10/2018, nº 386/2018) contribuiu com o aprimoramento teórico e metodológico acerca da vulnerabilidade costeira. Apoio de infraestrutura e corpo técnico e docente da Universidade de Wollongong, na Austrália, durante o período de intercâmbio internacional da primeira autora como pesquisadora visitante.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES

Não se aplica.

LICENÇA DE USO

Este artigo está licenciado sob a [Licença Creative Commons CC-BY](#). Com essa licença você pode compartilhar, adaptar, criar para qualquer fim, desde que atribua a autoria da obra.

HISTÓRICO

Recebido em: 26-09-2023

Aprovado em: 24-02-2024