

EFEITOS DAS OBRAS PARA CONTROLE DE EROSÃO COSTEIRA NO CARANGUEJO *Ocypode quadrata* (FABRICIUS, 1787) EM PRAIAS NO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO

Adriane Baudson do Nascimento¹, Phillipe Mota Machado², Eduardo Manuel Rosa Bulhoes³, Leonardo Lopes Costa¹, Karoline Costa Coutinho¹, Ilana Rosental Zalmon¹

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, Laboratório de Ciências Ambientais. Avenida Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia - 28013-602 - Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil, adrianebaudson@gmail.com, costa.ecomar@gmail.com, karolinecouthoc@gmail.com, ilana@uenf.br

²Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde Alto Universitário, S/N – Guararema - 29500-000- Alegre, ES, Brasil, phillipe.machado@ufes.br

³Universidade Federal Fluminense. Centro, 28020-740, Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil, eduardobulhoes@id.uff.br

Resumo

Obras de engenharia em praias para minimizar a erosão costeira são frequentes e podem afetar o caranguejo-fantasma *Ocypode quadrata*, um crustáceo já utilizado como indicador de impactos humanos. Este estudo investigou o impacto das obras para controle de erosão na população de *O. quadrata* e o seu potencial como espécie indicadora de tal efeito. Onze campanhas de amostragem foram realizadas entre 2022 e 2024 nas praias de Itapemirim e Marataízes, Espírito Santo, sendo quatro pontos em Itapemirim e seis em Marataízes, seguindo um gradiente de distância das obras e de urbanização. A densidade populacional e o tamanho dos indivíduos foram verificados pela contagem e medição do diâmetro das tocas em cinco transectos. Os resultados evidenciam que a urbanização e as obras de controle de erosão afetam negativamente a população de *O. quadrata*, enquanto a erosão apresentou um efeito fraco. A alimentação artificial também impactou diretamente a população, reduzindo a abundância dos indivíduos e confirmando seu potencial indicador desses impactos.

Palavras-chave: *Ocypodidae*; praias arenosas; erosão costeira; urbanização; alimentação artificial.

Área do Conhecimento: Ecologia

Introdução

As praias arenosas são ecossistemas amplamente utilizados para atividades humanas (Luijendijk *et al.*, 2018), atraindo mais visitantes que outros ambientes costeiros e desempenhando um papel crucial na economia global, especialmente no turismo (Schlacher *et al.*, 2007). Além disso, oferecem serviços ecossistêmicos essenciais, como manutenção da biodiversidade e locais de nidificação para tartarugas e aves. Contudo, o aumento da urbanização juntamente com as mudanças climáticas passou a ser uma ameaça a esses ecossistemas costeiros (Defeo, 2021).

A elevação do nível do mar combinada com a crescente urbanização da orla marítima é capaz de erodir uma parte significativa das praias (Vousdoulas *et al.*, 2020), alterando o funcionamento do ecossistema e impactando negativamente seus atributos ecológicos (Machado *et al.*, 2016; Corte *et al.*, 2022).

Para mitigar a erosão costeira, são adotadas soluções rígidas para minimizar os efeitos causados, como a construção de paredes, revestimentos, quebra-mares e esporões (Pranzini *et al.*, 2015), além da alimentação artificial da praia, prática que envolve a acreção de sedimentos para recuperar a faixa de areia em uma área com tendências erosivas da costa (Cantasano *et al.*, 2023; Paris *et al.*, 2023). Entretanto, os impactos destas obras são muitas vezes subestimados, embora possam afetar negativamente a fauna bentônica (Saengsupavanich *et al.*, 2023). Nesse contexto, há lacunas de informação sobre a resiliência dos organismos bentônicos frente aos impactos das obras.

Um organismo que pode ser negativamente afetado é o caranguejo *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787), uma espécie que já vem sendo utilizada como indicadora de impactos humanos (Lucrezi *et al.*, 2009; Machado *et al.*, 2019; Costa; Zalmon, 2019). Ele possui ampla distribuição geográfica, sendo encontrado ao longo da costa Atlântica, desde a América do Sul à América do Norte (Sakai; Turkay, 2013). Estudos mostram que esta espécie é afetada por atividades antrópicas como o pisoteio, tráfego de veículos na areia e presença de lixo (Costa; Zalmon, 2019; Machado *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2021; Schlender *et al.*, 2023). Além disso, um recente estudo mostrou a redução significativa de sua densidade populacional, ocasionada, possivelmente, por soterramento e anoxia após um evento de alimentação artificial (Paris *et al.*, 2023).

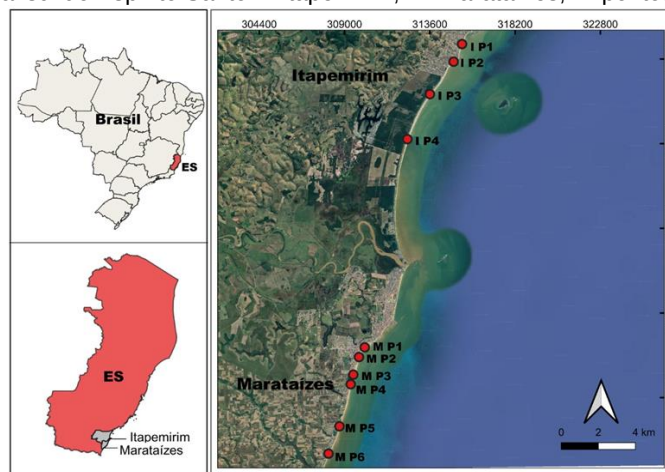
Embora já seja utilizado como um indicador de alguns impactos antrópicos, estudos para avaliar o potencial efeito dos projetos de alimentação artificial de praias na estrutura populacional do caranguejo-fantasma são escassos e a costa sul do estado do Espírito Santo tem sofrido com processos erosivos e obras para controle de erosão cada vez mais frequentes. O objetivo deste estudo foi investigar como as iniciativas para controle de erosão costeira impactam a população de *O. quadrata* e se esta espécie é indicadora desses impactos. Nossa hipótese é que as obras para controle de erosão costeira reduzem a abundância e o tamanho dos indivíduos do caranguejo *O. quadrata*, evidenciando seu potencial como indicador destes impactos.

Metodologia

Três praias de dois municípios foram selecionadas para o estudo, Itapemirim e Marataízes, localizadas na costa sul do Espírito Santo (Figura 1). No município de Itapemirim, duas praias foram utilizadas no estudo: a Praia de Itaipava e a Praia de Itaoca, onde foram selecionados quatro pontos de amostragem. Os dois primeiros pontos estão localizados na Praia de Itaipava, parte urbanizada do município, sendo o primeiro onde ocorreu uma obra de alimentação artificial entre novembro de 2021 e dezembro de 2022, que foi acompanhada durante as amostragens, e o segundo em uma área também urbanizada e adjacente à obra, mas sem a presença de qualquer tipo de obra para controle erosivo. Já os pontos restantes (3 e 4), estão situados na Praia de Itaoca, área menos urbanizada do município, com vegetação de restinga preservada e ausência de estruturas antrópicas.

Outros seis pontos foram selecionados ao longo da Praia de Marataízes. Os dois primeiros estão localizados na área urbanizada do município. O primeiro ponto passou por uma obra de alimentação artificial e possui um píer. O segundo apresenta enrocamentos rochosos. Os pontos 3 e 4 situam-se em áreas de urbanização intermediária e também com a presença de enrocamentos rochosos, enquanto os pontos 5 e 6 estão situados em áreas menos urbanizadas, com vegetação de restinga preservada e ausência de estruturas antrópicas para controle erosivo.

Figura 1 - Mapa da área de estudo indicando os pontos de amostragem nos municípios de Itapemirim e Marataízes, litoral sul do Espírito Santo. I: Itapemirim; M: Marataízes; P: pontos de amostragem.



Fonte: Autores (2024).

As praias foram amostradas onze vezes de junho de 2022 a fevereiro de 2024. Em cada ponto de amostragem, a densidade populacional e o tamanho dos indivíduos de *O. quadrata* foram investigados através de cinco transectos contínuos e perpendiculares à linha d'água, com largura de três metros, desde o limite superior do varrido ao início da vegetação ou outro limite antrópico/natural do supralitoral (Machado *et al.*, 2019).

Para as análises sedimentológicas, o sedimento foi peneirado para a determinação das frações granulométricas, sendo classificado em cascalho (>2 mm), areia muito grossa (>1 mm), areia grossa (>0,5 mm), areia média (>0,25 mm) e areia fina (<0,125 mm) (Suguio, 1973). O teor de matéria orgânica foi determinado calculando a diferença de massa entre o sedimento úmido e o seco a 350 °C por 12 horas (Goldin, 1987).

O nível de urbanização foi mensurado com base na Métrica de Modificação Humana (HMc) utilizando os pacotes “raster” (HIJMANS, 2020). A HMc avalia o nível de alteração causado por atividades humanas em áreas geocoordenadas, calculando, para cada pixel, a extensão espacial e a intensidade dos impactos utilizando uma escala que varia de 0 a 1, onde 0 é pouco urbanizado e 1 é muito urbanizado. A média de dados de deslocamento da costa (tendência à erosão) foram calculados com base em Luijendijk *et al.* (2018) e observados para a linha de costa dos municípios.

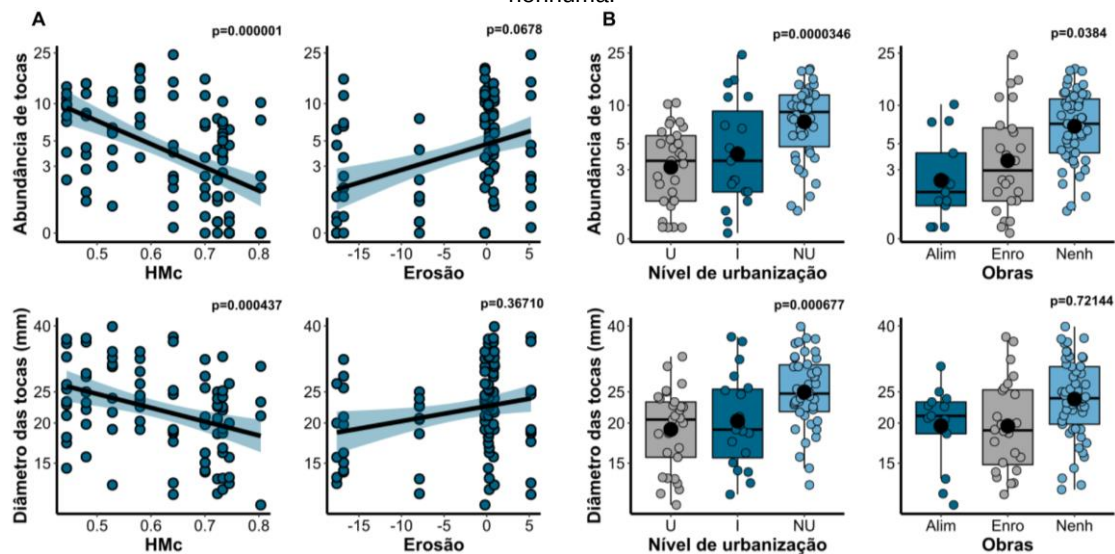
Para avaliar as diferenças no tamanho do grão e no teor de matéria orgânica entre os pontos de amostragem, foi realizado um teste utilizando modelos lineares generalizados. O efeito da HMc e do deslocamento da costa nos dados de abundância e diâmetro médio das tocas, foi avaliado através de uma regressão múltipla. Uma ANOVA também foi realizada a fim de comparar a abundância e diâmetro médio de tocas nos pontos urbanizados e não urbanizados. As análises estatísticas foram realizadas com um intervalo de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$) utilizando o RStudio, versão 2024.04.2+764, e o R, versão 4.3.3.

Resultados

As análises granulométricas para as duas praias de Itapemirim mostram que os pontos sob influência direta das obras apresentaram um predomínio significativo de areia grossa, exceto o ponto 3, em que a areia fina foi preponderante. Já na Praia de Marataízes, a fração predominante do sedimento foi de areia média, exceto no ponto 2, que diferiu significativamente pelo predomínio de areia muito grossa. Não foram encontradas diferenças significativas no teor de matéria orgânica entre os pontos de ambas as praias.

Figura 2 - Relação das variáveis HMc e erosão (A) e urbanização e obras (B) com os dados de abundância e diâmetro das tocas nas praias de Itapemirim e Marataízes.

*U: urbanizado; I: intermediário; NU: não urbanizado; Alim: alimentação artificial; Enro: enrocamentos; Nen: nenhuma.



Fonte: Autores (2024).

A linha de costa de ambos os municípios é, no geral, estável. Os resultados mostram que o Índice de Modificação Humana (HMc) é um fator que influencia negativamente a abundância ($p=0.00000159$) e o diâmetro ($p=0.000437$) das tocas do caranguejo-fantasma, enquanto a erosão não apresentou efeito significativo.

A abundância de tocas apresentou uma influência negativa significativa tanto da urbanização dos pontos ($p=0.0000346$), quanto das obras para controle de erosão costeira ($p=0.0384$). O diâmetro das tocas foi significativamente afetado apenas pela urbanização ($p=0.000677$).

Discussão

A granulometria do sedimento é um dos fatores responsáveis por variações na composição da biota, uma vez que praias de areia fina (dissipativas) retêm mais água no sedimento, protegendo os organismos contra a dessecação, favorecendo a absorção de matéria orgânica e também a manutenção de tocas devido à compactação do sedimento (Pereira; Soares, 2009). Dessa forma, o predomínio de areia muito grossa no ponto 2 de Marataízes e grossa nos pontos 1, 2 e 4 de Itapemirim poderia interferir na presença do caranguejo-fantasma, um crustáceo construtor de tocas e relativamente vulnerável à dessecação. Entretanto, a espécie pode ser considerada como “generalista de sedimento” e também estar presente em praias refletivas, indo de acordo com a Hipótese da Segurança do Habitat (Defeo; Gomes, 2005), onde as praias refletivas podem apresentar um ambiente mais estável e seguro para espécies supralitorais, como é o caso do caranguejo-fantasma.

Os resultados mostram um efeito negativo da urbanização e também da presença das obras para controle de erosão costeira nos dados de abundância e tamanho do caranguejo *O. quadrata*. Os impactos da presença de estruturas artificiais em praias arenosas (principalmente urbanas) nas comunidades macrobentônicas já vem sendo estudados e comprovados através de observações nas características biológicas desses animais, como a redução do tamanho corporal, abundância e comportamento alimentar, podendo influenciar diretamente a diversidade local (Schlacher *et al.*, 2016; Costa *et al.*, 2022). Além disso, as modificações físicas são as intervenções humanas mais significativas nas praias arenosas, responsáveis por afetar criticamente a dinâmica dos ecossistemas costeiros e dificultar a adequação aos habitats por parte das espécies (Jones *et al.*, 2017).

A obra de alimentação artificial realizada em uma praia de Itapemirim impactou diretamente a população de caranguejos-fantasma. Durante as sete primeiras campanhas de amostragem, nenhuma toca foi contabilizada neste ponto, indicando a ausência do animal após a obra. Um resultado semelhante foi observado por Paris *et al.* (2023), que verificaram uma redução populacional do caranguejo *O. quadrata* após um evento de alimentação artificial na praia. Os primeiros registros de recrutas no primeiro ponto da Praia de Itaipava, o único com obra de intervenção costeira de Itapemirim, foram observados após cinco meses da execução da obra de alimentação artificial, com tocas de aproximadamente 11 mm de diâmetro. Entretanto, observou-se um declínio na abundância de tocas neste e nos demais pontos das praias de Itapemirim nas amostragens subsequentes, possivelmente em consequência da erosão e do transporte de sedimentos adicionados na obra de alimentação artificial, que podem impactar as comunidades biológicas em áreas adjacentes (Miselis *et al.*, 2021).

As obras de alimentação artificial da praia podem ter impactos significativos na fauna da região entremarés através de reduções expressivas na abundância de diversos táxons (Wooldridge *et al.*, 2016; Cooke *et al.*, 2020), como o caranguejo *Ocypode quadrata*. Estudos revelam que o uso de sedimento na recuperação de dunas em praias é capaz de remover e enterrar completamente as comunidades bentônicas ali presentes (Miselis *et al.*, 2021), além de impedir o comportamento de escavação, expondo os animais ao estresse e resultando em uma menor eficiência alimentar, diminuição das taxas de recrutamento e, conseqüentemente, sobrevivência reduzida de toda a fauna da praia (Viola *et al.*, 2014). A espessura de sedimento adicionado ao local também pode influenciar a sobrevivência de animais escavadores, limitando a capacidade de escavação, gerando mortalidade por soterramento e asfixia, além do esmagamento por maquinários utilizados no processo (Schipper *et al.*, 2021). Dessa forma, o declínio populacional observado nas amostragens posteriores pode estar relacionado aos fatores contínuos de estresse e às condições ambientais não ideais impostas pelo sedimento adicionado, afetando a sobrevivência dos indivíduos.

Conclusão

O estudo evidenciou que as pressões exercidas tanto pela urbanização quanto pelas obras para controle de erosão costeira têm um efeito negativo nas populações do caranguejo *O. quadrata*, indicando a vulnerabilidade dessa espécie a tais eventos. Ressalta-se o potencial desse caranguejo como uma espécie indicadora de impactos antrópicos relacionados à urbanização e controle de erosão costeira, indicando que o seu monitoramento é fundamental em planos de gestão das praias focados na conservação da biodiversidade.

Referências

CANTASANO, N.; BOCCALARO, F.; IETTO, F. Assessing of detached breakwaters and beach nourishment environmental impacts in Italy: A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 195, n. 1, p. 127, 2023.

COOKE, B. C.; MORTON, J. K.; BALDRY, A.; BISHOP, M. J. Backshore nourishment of a beach degraded by off-road vehicles: Ecological impacts and benefits. *Science of the Total Environment*, v. 724, p. 138115, 2020.

CORTE, G. N.; CHECON, H. H.; ESMAEILI, Y. S.; DEFEO, O.; TURRA, A. Evaluation of the effects of urbanization and environmental features on sandy beach macrobenthos highlights the importance of submerged zones. *Marine Pollution Bulletin*, v. 182, p. 113962, 2022.

COSTA, L. L.; ZALMON, I. R. Multiple metrics of the ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787) for impact assessments on sandy beaches. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 218, p. 237-245, 2019.

COSTA, L. L.; ARUEIRA, V. F.; OCAÑA, F. A.; SOARES-GOMES, A., & ZALMON, I. R. Os caranguejos fantasmas (*Ocypode* spp.) são menores em praias arenosas perturbadas pelo homem? Uma análise global. *Hydrobiologia*, v. 849, n. 15, p. 3287-3298, 2022.

DEFEO, O.; GÓMEZ, J. Morphodynamics and habitat safety in sandy beaches: life-history adaptations in a supralittoral amphipod. *Marine Ecology Progress Series*, v. 293, p. 143-153, 2005.

DEFEO, O.; MCLACHLAN, A.; ARMITAGE, D.; ELLIOTT, M.; PITTMAN, J. Sandy beach social-ecological systems at risk: regime shifts, collapses, and governance challenges. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 19, n. 10, p. 564-573, 2021.

GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 18, p. 1111-1116, 1987.

HIJMANS, R. J. 2020. Raster: Geographic data analysis and modeling. R package version, 2, 8.

JONES, A. R.; SCHLACHER, T. A.; SCHOEMAN, D. S.; WESTON, M. A.; WITHYCOMBE, G. M. Ecological research questions to inform policy and the management of sandy beaches. *Ocean & Coastal Management*, v. 148, p. 158-163, 2017.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The state of the world's beaches. *Scientific reports*, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018.

MACHADO, P. M.; COSTA, L. L.; SUCIU, M. C.; TAVARES, D. C.; ZALMON, I. R. Extreme storm wave influence on sandy beach macrofauna with distinct human pressures. *Marine Pollution Bulletin*, v. 107, n. 1, p. 125-135, 2016.

MACHADO, P. M.; TAVARES, D. C.; ZALMON, I. R. Synergistic effect of extreme climatic events and urbanization on population density of the ghost crab *Ocypode quadrata* (Fabricius, 1787). *Marine Ecology*, v. 40, n. 2, e12525, 2019.

MISELIS, J. L.; FLOCKS, J. G.; ZEIGLER, S.; PASSERI, D.; SMITH, D. R.; BOURQUE, J.; ... & YANCHIS, K. (2021). Impacts of sediment removal from and placement in coastal barrier island systems. US Geological Survey, 2021.

PARIS, P.; LEACH, A.; CORBETT, D. R. Potential long-term disturbance associated with beach nourishment-insights and observations from Pea Island National Wildlife Refuge, Outer Banks, North Carolina. *Heliyon*, v. 9, n. 1, 2023.

PEREIRA, R. C.; SOARES, G. A. *Biologia Marinha*. 2ª Edição. Editora Interciência, Rio de Janeiro. 631p, 2009.

SAENGSUPAVANICH, C.; PRANZINI, E.; ARIFFIN, E. H.; YUN, L. S. Jeopardizing the environment with beach nourishment. *Science of The Total Environment*, v. 868, p. 161485, 2023.

SAKAI, K.; TÜRKAY, M. Revision of the genus *Ocypode* with the description of a new genus, *Hoplocypode* (Crustacea: Decapoda: Brachyura). *Memoirs Queensland Museum*, v. 56, p. 665–793, 2013.

SCHIPPER, M. A.; LUDKA, B. C.; RAUBENHEIMER, B.; LUIJENDIJK, A. P.; SCHLACHER, T. A. Beach nourishment has complex implications for the future of sandy shores. *Nature Reviews Earth & Environment*, v. 2, n. 1, p. 70-84, 2021.

SCHLACHER, T. A.; DUGAN, J.; SCHOEMAN, D. S.; LASTRA, M.; JONES, A.; SCAPINI, F.; MCLACHLAN, A.; DEFEO, O. Sandy beaches at the brink. *Divers. Distrib.* 13 (5), p. 556–560, 2007.

SCHLACHER, T. A., LUCREZI, S., CONNOLLY, R. M., PETERSON, C. H., GILBY, B. L., MASLO, B., ... & SCHOEMAN, D. S. Ameaças humanas às praias arenosas: Uma meta-análise de caranguejos fantasmas ilustra impactos antropogênicos globais. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 169, p. 56-73, 2016.

SCHLENDER, K.; CORTE, G.; DURDALL, A.; HABTES, S.; GRIMES, K. W. Urbanization driving *Ocypode quadrata* burrow density, depth, and width across Caribbean beaches. *Ecological Indicators*, v. 153, p. 110396, 2023.

SUGUIO, K. *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo: Edgard Blucher/EDUSP, 1973.

VIOLA, S. M.; HUBBARD, D. M.; DUGAN, J. E.; SCHOOLER, N. K. Burrowing inhibition by fine textured beach fill: implications for recovery of beach ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 150, p. 142-148, 2014.

WOOLDRIDGE, T.; HENTER, H. J.; KOHN, J. R. Effects of beach replenishment on intertidal invertebrates: A 15-month, eight beach study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 175, p. 24-33, 2016.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) – Termo de Outorga Nº 942/2023 - Processo Nº 2023-1445H e com o suporte da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).