COMUNIDADE BENTÔNICA DA PLATAFORMA NORTE DO ESPÍRITO SANTO APÓS A CHEGADA DOS REJEITOS DA BARRAGEM DE FUNDÃO-MG

Sintia Bruneli Fagundes[1], Luan de Oliveira Cerqueira[1,2], Mateus Rezende Coelho[1], Ester Fernandes da Silva[1], Pedro Vianna Gatts[1,2], Leila de Lourdes Longo[3], Adriane Araújo Braga[1,2].

[1]Laboratório de Invertebrados Marinhos (LabinMar), Departamento de Biologia, Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Alegre, Espírito Santo, Brasil. sintia.fagundes2014@gmail.com, mateusrezendecoelho@gmail.com, esterfernandesperfect@gmail.com.
[2]Programa de Pós-graduação em Oceanografia Ambiental, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo. adriane.braga@ufes.br, luaanoc@gmail.com, pedrogatts90@gmail.com.
[3]Laboratório de Macroinvertebrados Bentônicos (Labmacro), Universidade do Recôncavo Baiano (UFRB), Cruz das Almas, Bahia. leilalongo@gmail.com.

Resumo
O presente estudo teve como objetivo avaliar a composição e a distribuição da fauna bentônica da plataforma continental do norte do Espírito Santo. Foram analisadas amostras de sedimento coletadas em diferentes estações da plataforma, com identificação da macrofauna bentônica. Foram identificados 11 filos, com elevada representatividade de Mollusca, principalmente os vestígios de Gastropoda, Bivalvia e Scaphopoda. O ponto amostral DEG01 apresentou menor riqueza, com elevada proporção de vestígios em sua composição, enquanto estações como BN01, BN02 e ITA02 apresentaram maiores valores de riqueza e densidade. A composição da comunidade também variou entre estações rasas (< 20 m) e profundas (> 20 m), indicando influência desse gradiente sobre a distribuição dos organismos e de seus vestígios. Os resultados evidenciam uma distribuição espacial heterogênea da macrofauna, marcada pela predominância de vestígios de moluscos. Essas informações contribuem para a compreensão de padrões espaciais e ambientais da plataforma, além de fornecer uma base para futuras avaliações de alterações na comunidade bentônica da região.
Palavras-chave: Biomonitoramento. Bentos. Foz do Rio Doce. Impactos antrópicos. Rejeito de minério.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas – Ecologia.

Introdução

O Rompimento da Barragem de Fundão, localizada no município de Mariana (MG), coordenado pela Mineradora Samarco S.A., ocorreu em novembro de 2015, liberando cerca de 34 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração de ferro no meio ambiente, que atingiu o Rio Doce, os quais foram transportados da calha do rio em direção à foz, localizada no município de Linhares, no estado do Espírito Santo (IBAMA, 2015).

A chegada do rejeito causou impactos imediatos e efeitos prejudiciais, levando a mortalidade da fauna e reduzindo a diversidade taxonômica e funcional dos organismos que vivem na coluna d'água e que estão associados ao fundo (Domingos et al., 2017). Esses organismos possuem distintos níveis de resistência a contaminantes e às condições de qualidade do sedimento (Coppo et al., 2023) e, dessa forma, são vantajosos para compreender os impactos antrópicos ao longo dos anos (Hadlich et al., 2018).

Os organismos bentônicos são representados por diversos invertebrados, os quais representam uma comunidade importante no habitat que vivem, estando diretamente relacionados ao como fluxo energético e ciclagem de nutrientes desses ecossistemas (Bueno et al., 2003). Alguns desses organismos podem deixar vestígios no ambiente, como as conchas de moluscos ou esqueletos, que servem de registros para avaliar mudanças ambientais de longo prazo (Kidwell, 2008)

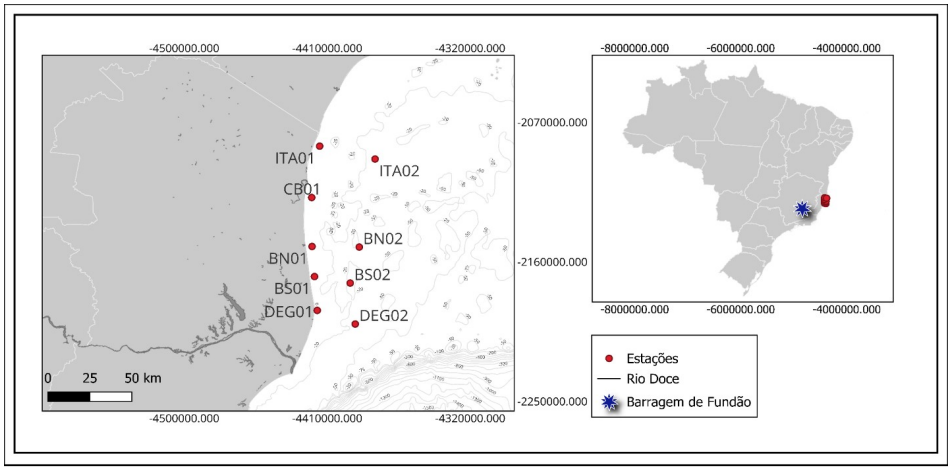
Os vestígios, para análise da fauna bentônica, são cada vez mais utilizados, tornando possível a verificação da variação temporal dessas comunidades no que diz respeito à composição e às perturbações. O estudo com uma assembleia mais superficial e com características recentes pode

aproximar a comunidade de vestígios da comunidade viva, apresentar menor efeito de transporte pós-morte e indicar maior sensibilidade a impactos recentes (Kidwell, 2008). Diante disso, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a composição, riqueza e abundância da fauna bentônica de invertebrados marinhos da plataforma continental do norte do Espírito Santo em relação à profundidade, com ênfase na ocorrência e distribuição de vestígios desses organismos.

Metodologia

Foram realizadas amostragens entre novembro de 2018 e setembro de 2021, onde coletou-se o sedimento de nove pontos amostrais, localizados na plataforma continental do norte do Espírito Santo: Degredo (DEG 01 e 02), localizado no município de Linhares, Barra Seca (BS 01 e 02) e Barra Nova (BN 01 e 02), em São Mateus, e Conceição da Barra (CB01) e Itaúnas (ITA 01 e 02), em Conceição da Barra (Figura 1). As amostragens foram conduzidas como parte do Programa de Monitoramento de Biodiversidade Aquática (PMBA), para avaliar os efeitos pós-desastre da lama de rejeitos da barragem de Fundão na macrofauna bentônica da plataforma continental marinha.

Figura 1 - Área de estudo e distribuição dos pontos amostrais de Degredo (DEG01 e DEG02), Barra Seca (BS01 e BS02), Barra Nova (BN01 e BN02), Conceição da Barra (CB01) e Itaúnas (ITA01 e ITA02) na plataforma continental do norte do estado do Espírito Santo, Brasil.



Fonte: Autores (2026).

As amostras do sedimento foram obtidas a partir de um buscador de fundo *Van Veen*, e acondicionadas em sacos plásticos duplos etiquetados com formalina 4% e, posteriormente, no Laboratório de Invertebrados Marinhos (LabinMar), os sedimentos foram lavados em peneiras de malha de 500µm e 63µm e subdivididos em três subamostras de 100mL, as quais foram triadas e a fauna bentônica identificada até o menor nível taxonômico com auxílio de literatura especializada, seguindo Brusca, Moore e Schuster (2016), e posteriormente quantificada. Dentre os organismos registrados, os táxons Cnidaria, Mollusca, Bryozoa e Ostracoda foram classificados em duas categorias: “vestígios” (VE), quando foram observadas apenas estruturas esqueléticas ou conchas, e “partes moles” (PM), quando o organismo apresentava partes moles associadas ao esqueleto ou às conchas. Os demais grupos taxonômicos que não apresentavam vestígios foram agrupados na categoria “Outros”.

A normalidade e homocedasticidade dos dados foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Para avaliar diferenças nas abundâncias entre os pontos amostrais e a profundidade, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) do Tipo III, adequada para conjuntos de dados com delineamento desbalanceado (Shaw; Mitchell-Olds, 1993), seguida pelo teste *a posteriori* de Tukey HSD (Miller, 1981). Quando a normalidade e homocedasticidade dos dados não foram atendidas, a análise de variância não-paramétrica de Kruskall-Wallis, seguida pelo teste de Dunn foram aplicados. Diferenças significativas foram observadas ao nível de *P* abaixo de 5%. Todas as análises estatísticas foram realizadas no ambiente R 4.4.1 para Windows (R Core Team, 2025).

Resultados

Foram registrados 151.261 indivíduos, distribuídos em 11 filos e 33 táxons, sendo 91,16% correspondentes a Vestígios (VE), 0,67% a Partes Moles (PM) e 8,17% a grupos sem vestígios (categoria "Outros"). Gastropoda foi o táxon com maior representatividade de vestígios (VE), com 659,220 ind/mL^{1}, seguido por Scaphopoda (VE) 477,658 ind/mL^{1}, Bivalvia (VE) 392,004 ind/mL^{1}, Bryozoa (VE) 136,524 ind/mL^{1}. Entre os táxons com partes moles, destacaram-se Bryozoa (PM) 7,525 ind/mL^{1}, Gastropoda (PM) 0,618 ind/mL^{1}. Os demais táxons foram agrupados na categoria 'Outros' (82,150 ind/mL^{1}), que incluiu Porifera, Platyhelminthes, Nematoda, Nemertea, Polyplacophora, Polychaeta, Oligochaeta, Sipuncula, Echiura, Pycnogonida, Thecostraca, Copepoda, Stomatopoda, Anomura, Brachyura, Caridea, Amphipoda, Isopoda, Tanaidacea, Cumacea e Echinodermata (Tabela 1).

Em relação à profundidade, os pontos classificados com profundidade menor que 20 m (< 20 m = Raso) apresentaram variação na densidade de 9,810 ind/mL^{1} (BS01) a 25,503 ind/mL^{1} (ITA01), enquanto os pontos com profundidade maior que 20 m (> 20 m) variaram de 17,847 ind/mL^{1} (BS02) a 1.230,932 ind/mL^{1} (DEG02). O ponto DEG02 apresentou os maiores valores para os vestígios de Bivalvia, seguido por Scaphopoda e Gastropoda, ao mesmo tempo que BS01 apresentou a menor abundância de vestígios de Gastropoda e BS02 de Bivalvia e Scaphopoda. Em relação aos táxons com Partes Moles, BN01 apresentou maiores valores para quase todos os grupos, exceto Gastropoda (PM) (Tabela 1).

Tabela 1 - Macrofauna bentônica registrada nos nove pontos amostrais (DEG01, DEG02, BS01, BS02, BN01, BN02, CB01, ITA01 e ITA02) na plataforma continental norte do Espírito Santo, Brasil. PM = Partes moles; VE = Vestígio.

Táxons	DEG01	DEG02	BS01	BS02	BN01	BN02	CB01	ITA01	ITA02	Total
Cnidaria (PM)	0,000	0,050	0,000	0,000	0,120	0,000	0,000	0,003	0,000	**0,173**
Cnidaria (VE)	0,000	0,200	0,000	0,057	0,610	0,050	0,103	0,085	0,107	**1,212**
Bryozoa (PM)	0,000	0,000	0,027	0,003	7,383	0,010	0,003	0,015	0,084	**7,525**
Bryozoa (VE)	31,737	53,077	0,597	1,567	33,792	4,823	2,103	0,527	8,302	**136,524**
Gastropoda (PM)	0,000	0,203	0,000	0,003	0,158	0,207	0,003	0,003	0,040	**0,618**
Gastropoda (VE)	44,313	418,569	2,227	7,577	72,043	32,923	7,857	10,775	62,936	**659,220**
Bivalvia (PM)	0,003	0,013	0,003	0,013	0,283	0,003	0,010	0,013	0,010	**0,353**
Bivalvia (VE)	41,107	283,732	5,123	1,093	19,160	13,880	3,657	10,062	14,190	**392,004**
Scaphopoda (VE)	9,127	452,313	1,313	0,390	2,163	9,067	0,553	0,700	2,031	**477,658**
Ostracoda (PM)	0,000	0,025	0,000	0,003	0,148	0,017	0,007	0,007	0,072	**0,278**
Ostracoda (VE)	0,180	1,290	0,050	2,097	5,805	2,567	0,300	0,160	8,078	**20,526**
Outros	14,270	21,459	0,470	5,043	17,945	2,643	1,490	3,153	15,675	**82,150**
Abundância	140,737	1.230,932	9,810	17,847	159,612	66,190	16,083	25,503	111,525	**1.778,242**
Riqueza	14	19	16	20	28	24	16	24	24	**33**

Fonte: Autores (2026).

A densidade dos táxons variou entre as áreas classificadas como rasas (< 20 m) e profundas (≥ 20 m), embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$). Entretanto, foram detectadas diferenças significativas entre os pontos amostrais ($F = 6,372$, $p < 0,001$) (Figura 2).

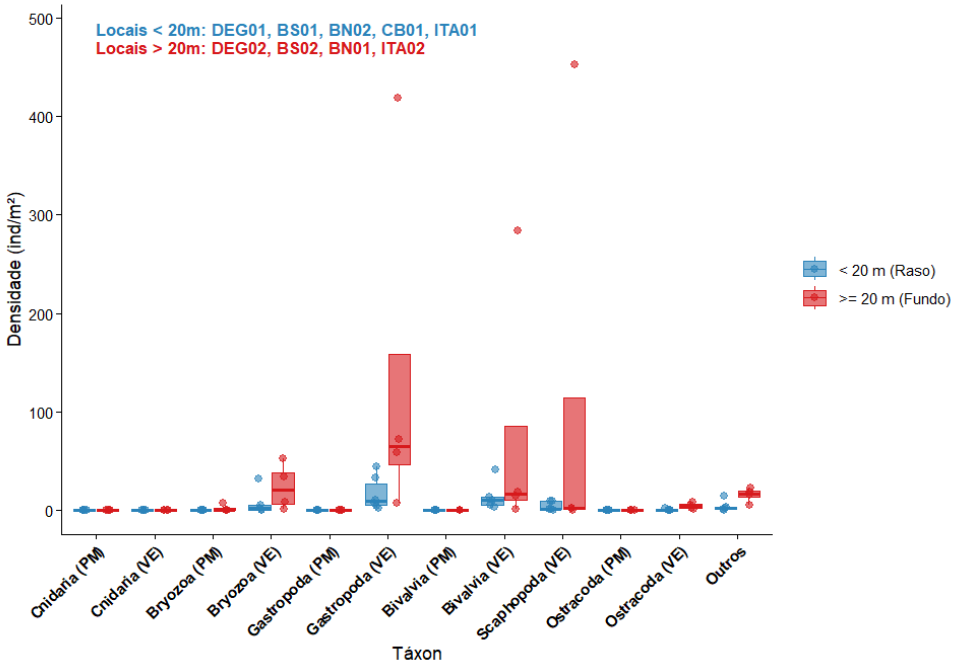
De modo geral, os maiores valores de densidade foram registrados para vestígios de Gastropoda, especialmente nos locais mais fundos, que também apresentaram maior amplitude de variação dos dados, com valor igual a 556,9 ind/mL^{1} ($X^2 = 0,142$, $p = 0,114$). Nos locais rasos, a densidade variou de 2,227 a 32,923 ind/mL^{1} em BS01 e BN02, respectivamente, com uma densidade total igual a 102,3 ind/mL^{1}.

Para os vestígios de Scaphopoda, os maiores valores e a maior dispersão ocorreram nos locais fundos (456,9 ind/mL^{1}), enquanto nos rasos os valores permaneceram relativamente mais baixos e homogêneos (20,8 ind/mL^{1}). Os vestígios de Ostracoda também foram maiores nos locais mais fundos (densidade total igual a 17,3 ind/mL^{1}), variando de 1,290 a 8,078 ind/mL^{1} em DEG02 e ITA02, respectivamente. O grupo "Outros" também apresentou maiores abundâncias nos locais mais fundos (densidade total igual a 61,5 ind/mL^{1}), com destaque para ITA02 (15,675 ind/mL^{1}) e BN01 (17,945

ind/mL^{1}).

Em relação aos táxons classificados com partes moles (PM), sua representatividade foi baixa tanto nos locais mais rasos quanto mais fundos, inclusive para os principais táxons Gastropoda (0,210 e 0,400 ind/mL^{1}, respectivamente), Bivalvia (0,030 e 0,320 ind/mL^{1}, respectivamente) e Ostracoda (0,030 e 0,250 ind/mL^{1}, respectivamente), comparados aos respectivos vestígios. De modo geral, observa-se maior heterogeneidade na abundância dos táxons nos locais fundos, principalmente em função da elevada ocorrência de vestígios de Gastropoda e da ampla variação observada para os demais grupos.

Figura 2 - Densidade da macrofauna bentônica encontrada nos nove pontos amostrais (DEG01, DEG02, BS01, BS02, BN01, BN02, CB01, ITA02 e ITA02) em profundidades menores que 20 metros (Raso) e maiores que 20 metros (Fundo) na plataforma continental norte do Espírito Santo, Brasil. PM = Partes moles; VE = Vestígio.



Fonte: Autores (2026).

Discussão

A comunidade bentônica associada aos sedimentos inconsolidados da plataforma continental apresentou elevada representatividade de Mollusca, especialmente como vestígios, padrão que difere de Menezes (2020), nos quais os moluscos também foram representativos, porém contabilizando conjuntamente os animais com partes moles e vestígios. Em consonância com os resultados do presente estudo, Nascimento et al. (2022) e Cerqueira et al. (2023) encontraram Mollusca como o grupo mais abundante na plataforma continental do Espírito Santo e sul da Bahia, com elevada contribuição de vestígios. A recorrência desse resultado em diferentes estudos e períodos amostrais sugere que a elevada representatividade de Mollusca e, particularmente, de seus vestígios, constitui um padrão consistente para a plataforma continental do norte do Espírito Santo.

A predominância de vestígios pode estar relacionada à formação de uma assembleia de restos, composta por estruturas biogênicas preservadas após a perda das partes moles (Kidwell, 2008). A elevada representatividade de vestígios foi particularmente evidente nas estações próximas à região da foz do Rio Doce, com destaque para DEG01. Entretanto, embora a ocorrência de vestígios possa estar relacionada a processos ambientais e tafonômicos (Kidwell, 2008), os quais influenciam sua acumulação e preservação, sua elevada representatividade em determinadas estações sugere uma possível relação com a influência de rejeitos e, consequentemente, a mortalidade dos organismos bentônicos. Dessa forma, a elevada ocorrência de vestígios pode representar não apenas um registro de organismos acumulados no sedimento, mas também uma resposta da comunidade à perturbação ambiental associada aos rejeitos. A análise desses registros, portanto, acrescenta uma dimensão temporal à interpretação da comunidade bentônica, permitindo considerar tanto sua composição atual quanto evidências de alterações e processos de mortalidade ocorridos no ambiente.

As estações rasas, por estarem mais próximas da costa e potencialmente sob maior influência

costeira e fluvial, podem apresentar condições ambientais distintas das regiões mais profundas (Zalmon et al., 2013), o que reforça a existência de heterogeneidade espacial na distribuição da comunidade bentônica. Estudos realizados na plataforma continental adjacente ao Rio Doce demonstram que profundidade, matéria orgânica e distância da costa estão entre os fatores associados à variação na composição e distribuição da macrofauna bentônica (Matthews-Cascon et al., 2018), assim como apontado por Eichler et al. (2019).

Nascimento et al. (2022) identificaram a presença de lama e rejeito principalmente nas áreas mais próximas à foz do rio Doce, através do índice mineralógico de ferro (IMS), o qual pode atuar como uma evidência complementar dos rejeitos sobre a comunidade bentônica. A menor riqueza e densidade de organismos com partes moles e vestígios nas estações rasas pode ser reflexo da condição ambiental previamente identificada a partir do IMS. Nesse sentido, a elevada representatividade de vestígios e a menor riqueza observadas em DEG01 no presente estudo são consistentes com o padrão ambiental descrito por Nascimento et al. (2022), sugerindo que a influência dos rejeitos, representada pelo IMS, pode contribuir para explicar a maior ocorrência de vestígios nessa estação. Entretanto, a presença de vestígios nas demais estações também pode refletir processos tafonômicos, como transporte pós-morte, durabilidade diferencial e persistência dos restos no sedimento (Kidwell, 2008). Dessa forma, a distribuição dos vestígios não deve ser atribuída exclusivamente ao IMS, mas interpretada como resultado da interação entre a influência dos rejeitos, os gradientes ambientais e os processos tafonômicos.

As estações DEG01 e DEG02, com maior contribuição de sedimentos finos, podem apresentar menor disponibilidade de espaços intersticiais, o que pode restringir a ocupação por determinados organismos bentônicos (Nascimento et al., 2022). Além disso, esses sedimentos favorecem a retenção de matéria orgânica e elementos-traço (McCave, 1984). Em contraste, estações mais afastadas da região da foz e com maior contribuição de areia fina, areia grossa, cascalho e $CaCO_3$, como BN01, BN02 e ITA02, apresentam substratos potencialmente mais heterogêneos e com maior disponibilidade de espaços intersticiais. Essa heterogeneidade pode ampliar a diversidade de microhabitats e favorecer maior riqueza e abundância da fauna, contribuindo para a complexidade da comunidade, conforme também discutido por Nascimento et al. (2022).

Conclusão

Os resultados demonstraram elevada representatividade de vestígios na comunidade bentônica da plataforma continental do norte do Espírito Santo, correspondendo a 91,16% dos indivíduos registrados no período estudado, com predominância de Gastropoda, Bivalvia e Scaphopoda. A abundância da macrofauna diferiu significativamente entre os pontos amostrais, mas não entre as profundidades (<20 m e ≥20 m), evidenciando uma distribuição espacial heterogênea da comunidade, particularmente dos componentes vestigiais.

A estação Degredo 01 apresentou a menor riqueza taxonômica e elevada representatividade de vestígios, coincidindo com a região previamente caracterizada como impactada pela presença de rejeitos. A distribuição dos organismos com partes moles e com vestígios ao longo das estações e profundidades indica uma possível influência dos rejeitos e do IMS, em conjunto com características sedimentares, gradientes ambientais e processos tafonômicos.

Dessa forma, a análise integrada da macrofauna e de seus vestígios amplia a compreensão da estrutura da comunidade bentônica, incorporando informações associadas tanto à composição atual quanto aos processos de acumulação e preservação registrados no sedimento. Esse entendimento é relevante diante das evidências do aumento dos vestígios da macrofauna associada à presença e ao acúmulo da lama do rejeito após o desastre. A continuidade do monitoramento da fauna bentônica, dos vestígios e das variáveis ambientais é fundamental para acompanhar a persistência e a distribuição espacial dos impactos associados ao desastre, bem como para identificar possíveis alterações ambientais não relacionadas exclusivamente aos rejeitos, mas também a outros fatores ambientais na estruturação da comunidade bentônica.

Referências

BUENO, A. A. P.; BOND-BUCKUP, G.; FERREIRA, B. D. P. Estrutura da comunidade de invertebrados bentônicos em dois cursos d'água do Rio Grande do Sul, Brasil. **Rev. Bras. Zool.** 20(1), p. 115-125, 2003. DOI: 10.1590/S0101-81752003000100014

BRUSCA, R. C.; MOORE, W.; SHUSTER, S. M. *Invertebrates*. 3. ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 1104 p.2016. ISBN 978-1605353753.

MATTHEWS-CASCON, H.; BEZERRA, L. E. A.; BARROSO, C. X.; RABAY, S. G.; MOREIRA, A. K.; ROCHA, V. P.; SOARES, M. O. Marine benthic communities affected by the Doce River (southwestern Atlantic): baseline before a mining disaster. **Marine Pollution Bulletin**, v. 135, p. 1000–1006, 2018.

CERQUEIRA, L. O.; CASSAMALI, A. S.; MORAES, A. B.; LONGO, L. L.; BRAGA, A. A. Macrofauna bentônica de sedimento inconsolidado da plataforma continental após a chegada dos rejeitos da barragem de Mariana-MG. XXVII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, São José dos Campos. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2023.

EICHLER, P. B.; RODRIGUES, A. R.; GOMES, M. P.; VITAL, H. Benthic foraminifera as indicators of river discharge in the Western South Atlantic continental shelf. ***Marine Geology***, v. 415, 105973, 2019.

HADLICH, H.L.; VENTURINI, N.; MARTINS, C.C.; HATJE, V.; TINELLI, P.; GOMES, L.E.O.; BERNARDINO, A.F. Multiple biogeochemical indicators of environmental quality in tropical estuaries reveal contrasting conservation opportunities. **Ecol. Ind.,** v. 95(1), p. 21-31, 2018.

IBAMA. Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais, 2015. Acesso em: 22 de Agosto de 2025.

KIDWEL S.M. Ecological fidelity of open marine molluscan death assemblages: effects of post-mortem transportation, shelf health, and taphonomic inertia. **Lethaia**, v. 41(3), 2008.

MCCAVE, I. N. 1984. Size spectra and aggregation of suspended particles in the deep ocean. **Deep Sea Res.**, vol. 31, p. 329-352. DOI: 10.1016/0198-0149(84)90088-8.

MENEZES, R. P. Estrutura da assembleia de moluscos bentônicos da Plataforma Continental Oeste do Ceará, Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará. 2020.

MILLER, R.G. **Simultaneous Statistical Inference**. Springer. 1983.

NASCIMENTO, R. L.; ALVES, P. R.; DOMENICO, M.; BRAGA, A. A.; PAIVA, P. C.; ORLANDO, M. T. D. A.; CAVICHINI, A. S.; LONGHINI, C. M.; MARTINS, C. C.; NETO, R. R.; GRILO, C. F.; OLIVEIRA, K. S. S.; QUARESMA, V. S.; COSTA, E. S.; CAGNIN, R. C.; SILVA, C. A.; SÁ, F.; LONGO, L. L. The Fundão dam failure: Iron ore tailing impact on marine benthic macrofauna. **Sci. Tot. Environ.**, v. 838, p. 156-205, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156205

SHAW, R. G.; MITCHELL-OLDS, T. ANOVA for unbalanced data: an overview. **Ecology,** v. 74, n. 6, p. 1638-1645. 1993. DOI: 10.2307/1939922

ZALMON, I. R.; MACEDO, I. M.; REZENDE, C. E.; FALCÃO, A. P. C.; ALMEIDA, T. C. The distribution of macrofauna on the inner continental shelf of southeastern Brazil: the major influence of an estuarine system. **Estuarine, Coastal and Shelf Science,** v. 130, p. 169–178, 2013.

Agradecimentos
A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Programa de Monitoramento em Biodiversidade Aquática (PMBA) estabelecido pelo Acordo Técnico Científico (001/2018) entre FEST e Fundação Renova; à equipe de embarque do Marinho Integrado PMBA e ao Laboratório de Invertebrados Marinhos (Labinmar) no apoio na desmobilização, lavagem e triagem de amostras.