

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

MACROFAUNA BENTÔNICA DE SEDIMENTO INCONSOLIDADO DA PLATAFORMA CONTINENTAL APÓS A CHEGADA DOS REJEITOS DA BARRAGEM DE MARIANA-MG

Luan de Oliveira Cerqueira¹, Annie da Silva Cassamali¹, Alex Barbosa de Moraes¹, Leila de Lourdes Longo², Adriane Araújo Braga^{1, 3}

¹Laboratório de Invertebrados Marinhos - Labinmar. Alegre, Espírito Santo. luaano@hotmail.com

²Laboratório de Macroinvertebrados Bentônicos - Labmacro, Universidade do Recôncavo Baiano - UFRB. Cruz das Almas, Bahia. leilalongo@gmail.com

³Departamento de Biologia, Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde - CCENS, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Alegre, Espírito Santo. adriane.braga@ufes.br.

Resumo

O rompimento da barragem de Fundão liberou cerca de 34 milhões de m³ de rejeitos de mineração, impactando diretamente a macrofauna bentônica. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a fauna de substrato inconsolidado da plataforma continental do norte do Espírito Santo, após a chegada dos rejeitos da barragem de Fundão, Mariana-MG. Para isso realizou-se quatro coletas em seis pontos amostrais, onde uma draga Van Veen foi lançada e o sedimento coletado foi lavado em peneira de 500µm e triado. Os organismos foram identificados e classificados como "Vestígios" (VE) e "Partes moles" (PM). Foram encontrados 81.158 indivíduos, pertencentes a sete filos e 23 táxons. O filo Mollusca foi o mais abundante (68.060), sendo 99,95% classificados como vestígios, indicando uma grande mortalidade desses organismos. O filo Bryozoa (8316) foi o segundo mais abundante seguido de Annelida (3.109). Dentre os pontos, BN01 apresentou a maior riqueza, provavelmente pela distância da costa e maiores profundidades, já em DEG01 foi registrado a menor, podendo estar relacionado a proximidade da costa e da foz do Rio Doce, local apontado como mais impactado com os rejeitos.

Palavras-chave: Biomonitoramento. Impactos antrópicos. Fundo mole. Riqueza. Zoobentos.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas – Ecologia.

Introdução

A plataforma continental é uma porção do fundo marinho que compreende a linha da costa até o talude continental (LANA et al., 1996). Esse ambiente apresenta grande importância, tanto ecológica quanto econômica, uma vez que é capaz de abrigar uma comunidade biológica dinâmica e rica, com elevados níveis de abundância (SILVA, 2014). Esses organismos bentônicos encontrados são aqueles que vivem diretamente associados ao fundo, seja no sedimento consolidado ou inconsolidado, podendo estar fixos a algum substrato ou apresentar vida livre (DOMINGOS et al., 2017).

Os filos Mollusca, Bryozoa, Annelida (classe Polychaeta) e Arthropoda (subfilo Crustacea) são comumente encontrados nos estudos da plataforma continental e sedimento inconsolidado (TOMAS, 1993; GÓMEZ-GESTEIRA; DAUVIN, 2000; SANTOS, 2019). Esses invertebrados bentônicos são de grande importância nas avaliações dos impactos antrópicos causados sobre o ambiente marinho, uma vez que apresentam uma grande diversidade e abundância, uma capacidade de colonizar diferentes habitats, além de possuírem uma mobilidade limitada, diminuindo a capacidade de fugir de perturbações, e, portanto, permitindo que a presença ou ausência desses organismos indique a qualidade do ambiente estudado (BICUDO; BICUDO, 2004).

A barragem de fundão, localizada no município de Mariana-MG e liderada pela Samarco Mineradora S.A, sofreu rompimento em novembro de 2015 e liberou cerca de 34 milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração no meio ambiente que atingiu o Rio Doce, causando destruição de comunidades faunísticas, com a mortalidade de várias espécies terrestres e aquáticas, bem como alterações na qualidade da água. Essa lama de rejeitos percorreu 680 km até chegar na foz do rio, atingindo o litoral do Espírito Santo (IBAMA, 2015; LOPES et al. 2016). Dentre os principais efeitos causados com a

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

exposição de metais pesados provenientes da lama de rejeitos sobre a macrofauna estão o soterramento (GOMES et al. 2017) e alterações na composição das espécies (BERNARDINO et al. 2019; NASCIMENTO et al. 2022). Perante o exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar a macrofauna de invertebrados marinhos bentônicos, após a chegada dos rejeitos, oriundos da barragem de Fundão, na plataforma continental do norte do Espírito Santo.

Metodologia

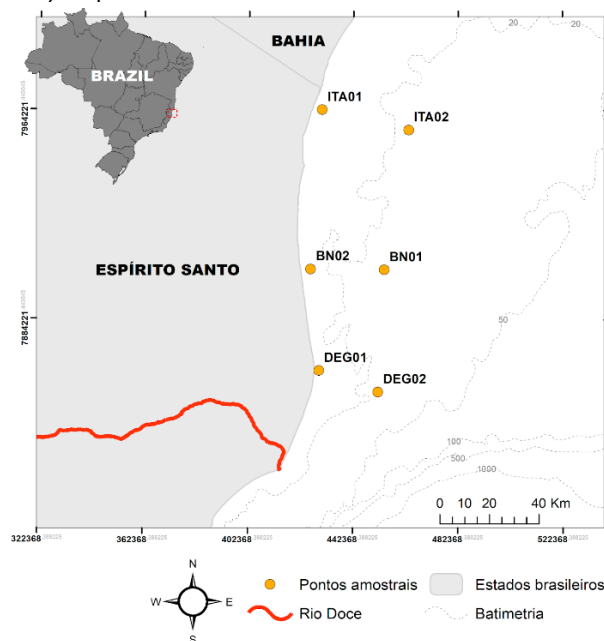
Durante o período de estudo foram coletadas amostras de sedimento em seis pontos localizados na plataforma continental do norte do Espírito Santo, totalizando quatro coletas realizadas entre novembro de 2018 e julho de 2019. As unidades amostrais compreendem Degredo (DEG 01 e 02), Barra Nova (BN 01 e 02) e Itaúnas (ITA 01 e 02), situados nos municípios de Linhares, São Mateus e Conceição da Barra, respectivamente (Figura 1). Os dados de profundidade (Tabela 1) e distância entre os pontos foram obtidos a partir de sonda da embarcação e GPS digital, sendo que DEG01, BN02 e ITA01 foram os pontos mais próximos à costa do Espírito Santo, enquanto DEG02, BN01 e ITA02 os mais distantes (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.

Tabela 1 - Profundidade média $\pm$ desvio padrão dos pontos amostrais das quatro coletas realizadas entre novembro de 2018 e julho de 2019 na plataforma continental do Norte do estado do Espírito Santo, Brasil. (DEG = Degredo; BN = Barra Nova; ITA = Itaúnas).

Ponto	DEG01	DEG02	BN01	BN02	ITA01	ITA02
Profundidade	10,0 $\pm$ 0,0	30,0 $\pm$ 0,81	26,7 $\pm$ 1,5	14,25 $\pm$ 0,5	9,1 $\pm$ 0,82	26,9 $\pm$ 1,05

Fonte: os Autores

Figura 1. Área de estudo e distribuição dos pontos amostrais de Degredo (DEG01, DEG02), Barra Nova (BN01, BN02) e Itaúnas (ITA01 e ITA02) na plataforma continental do Norte do estado do Espírito Santo, Brasil.



Fonte: Os autores.

A amostragem do sedimento foi obtida a partir do lançamento de um buscador de fundo Van Veen. O material obtido foi acondicionado em sacos plásticos duplos etiquetados e adicionado formalina 4% e, posteriormente, as amostras foram transportadas para o Laboratório de Invertebrados Marinhos – Labinmar, da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, campus Alegre. Os sedimentos foram

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

lavados em peneiras de malha 500µm e subdivididos em três subamostras de 100mL (totalizando 300mL) as quais foram triadas e a fauna bentônica identificada até o menor táxon possível.

Quanto à separação dos organismos, os filos Cnidaria, Mollusca, Bryozoa e Ostracoda foram divididos entre “Vestígios” (VE), quando há presença de apenas esqueleto ou concha, ou “Partes moles” (PM), quando apresenta o corpo juntamente com o esqueleto. Quanto aos vestígios, só foram coletadas conchas que apresentavam características que indicavam mortes recentes, isto é, sem avarias e com a presença de algum brilho, a qual aponta que esses organismos faziam parte da biota ao ser coletado. A comunidade bentônica foi caracterizada por meio dos índices ecológicos, sendo eles: abundância e riqueza de táxons. A comparação dos índices entre os pontos e profundidade foi realizada mediante a análise de variância (ANOVA one-way) calculadas com o programa estatístico Past (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

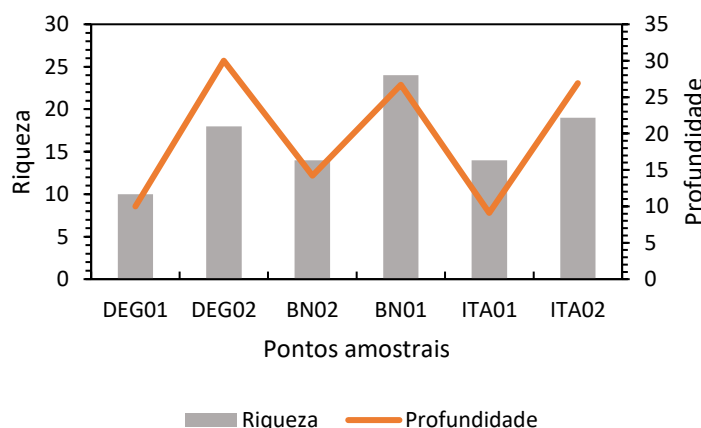
Resultados

Foi registrado um total de 81.158 indivíduos pertencentes a sete filos, compreendidos a 23 táxons. Dentre os filos encontrados, Mollusca foi o mais abundante, com 68.060 indivíduos, e desses apenas 31 apresentavam o corpo mole além da concha, sendo 28 Gastropoda e 8 Polyplacophora. Os demais foram em forma de Vestígios (VE), dos quais a classe Gastropoda (VE) foi a mais abundante (31.560), seguido de Scaphopoda VE (19.269) e Bivalvia VE (17.200). O filo Bryozoa foi o segundo mais abundante, com 7.581 indivíduos classificados como vestígios e 735 como partes moles, seguido de Annelida (3.109), sendo 2.949 da classe Polychaeta, 157 Oligochaeta e três Echiura (Tabela 2).

Com relação a abundância dos organismos entre os pontos amostrados, DEG02 foi o mais representativo (47.738), seguido de ITA02 (12.568), BN01 (6.593), DEG01 (8.007), BN02 (4.405) e ITA01 (1.956), com diferença estatística entre DEG02 e DEG01, BN02, BN01, ITA01 (ANOVA: 0,000842, $p < 0,005$), e ITA02 com DEG02 ($p < 0,005$). A classe Gastropoda VE foi o táxon mais abundante nos pontos ITA02 (7.374), DEG01 (2.636), BN01 (1.812) e BN02 (2.469), exceto em DEG02, no qual Scaphopoda VE apresentou maior abundância (17.578) e em ITA01, onde Bivalvia VE foi mais representativo (847). Os vestígios de Scaphopoda, Gastropoda, Bivalvia, e Bryozoa apresentaram maiores abundâncias em todos os seis pontos, sendo mais expressivos em DEG02 com 17.578, 16.481, 10.244 e 2.483 indivíduos, respectivamente.

Para a riqueza entre os pontos observou-se BN01 com maior número de táxons (24), seguido de ITA02 (19), DEG02 (18), BN02 e ITA01 (14) e DEG01 (10), onde BN01 e ITA02 diferiram estatisticamente de DEG01 (ANOVA: 0,002703, $p < 0,005$). Os táxons Polyplacophora e Pycnogonida foram exclusivos de BN02, com oito e três indivíduos, respectivamente, e Echiura de ITA02 (Tabela 2). Ao comparar a riqueza com a profundidade de cada ponto, percebe-se uma tendência de maiores valores em maiores profundidades (DEG02, BN01 e ITA02) (Figura 2), mas não foi observado o mesmo para a abundância.

Figura 2 - Comparação entre riqueza e profundidade dos pontos DEG01, DEG02, BN01, BN02, ITA01 e ITA02 do norte do Espírito Santo, Brasil.



Fonte: Os autores.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Tabela 2 - Riqueza e abundância de invertebrados marinhos do sedimento inconsolidado dos pontos de Degredo (DEG01, DEG02), Barra Nova (BN01, BN02) e Itaúnas (ITA01 e ITA02) localizados na plataforma continental norte do estado do Espírito Santo, Brasil. PM = Partes moles; VE = Vestígio.

Filos	Táxon	DEG01	DEG02	BN02	BN01	ITA01	ITA02	Total
Porifera	Porifera	0	0	0	50	0	3	53
Cnidaria	Cnidaria (PM)	0	4	0	12	0	0	16
	Cnidaria (VE)	0	8	10	51	11	30	110
Mollusca	Gastropoda (VE)	2.636	16.481	2.469	1.812	788	7.374	31.560
	Gastropoda (PM)	0	8	0	3	0	12	23
	Bivalvia (VE)	2.310	10.244	1.092	672	847	2.035	17.200
	Scaphopoda (VE)	644	17.578	361	210	71	405	19.269
	Polyplacophora	0	0	0	8	0	0	8
Annelida	Polychaeta	840	472	155	729	81	672	2.949
	Oligochaeta	6	120	1	5	0	25	157
	Echiura	0	0	0	0	0	3	3
Bryozoa	Bryozoa (PM)	0	0	2	708	5	20	735
	Bryozoa (VE)	1.519	2.483	295	1.586	68	1.630	7.581
Nematoda	Nematoda	0	15	4	3	1	48	71
Arthropoda	Caridea	0	7	0	21	0	10	38
	Brachyura	0	67	0	2	1	0	70
	Tanaidacea	0	3	0	6	0	1	10
	Isopoda	0	0	0	18	0	0	18
	Amphipoda	13	21	3	128	35	52	252
	Copepoda	10	0	1	3	1	1	16
	Ostracoda (VE)	0	8	0	20	0	24	52
	Ostracoda (PM)	0	38	2	8	1	2	51
	Pycnogonida	0	0	0	3	0	0	3
Abundância		8.004	47.708	4.402	6.522	1.954	12.568	81.158
Riqueza		10	18	14	24	14	19	23

Fonte: os Autores

Discussão

A comunidade bentônica do sudeste e sul da costa brasileira é apontada por Amaral e Jablonski (2005) como a mais conhecida, exceto pelo estado do Espírito Santo, significando, assim, uma necessidade de estudos nesse local. A biodiversidade marinha e costeira está sujeita a grandes ameaças de degradação ou alteração de habitats, principalmente por meio de impactos como poluição por pesticidas, produtos químicos e efluentes industriais (AMARAL; JABLONSKI, 2005), assim como por mineração. Essas atividades de mineração podem impactar os ecossistemas marinhos, ao serem despejados no mar (GOMES et al., 2000), o que pode ocasionar aos organismos bentônicos um soterramento e exposição a metais pesados (GOMES et al. 2017, NASCIMENTO et al. 2022).

Os moluscos são comumente encontrados em sedimentos não consolidados, como visto por Rocha e Martins (1998) em seus estudos sobre a diversidade da malacofauna da plataforma continental do Ceará, onde encontraram grandes abundâncias de organismos com partes moles, além das conchas vazias. Silva (2014) e Menezes (2020), ao caracterizar a macrofauna bentônica, considerou apenas os indivíduos de partes moles, descartando os vestígios, mas, mesmo assim, encontraram uma abundância relativamente maior ao comparado a este estudo.

Kidwell (2008) classifica as conchas vazias como "comunidade morta", ou seja, essa grande abundância de vestígios (conchas vazias), sem o corpo (parte mole) pode indicar a mortandade desses

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

organismos. Essa possível mortandade (alta abundância de conchas) é preocupante, pois o filo Mollusca é de extrema importância, principalmente devido a sua grande riqueza, abundância e ampla distribuição (ABSALÃO; PIMENTA, 2005) e por apresentarem capacidade de modificar o ambiente por meio de bioturbação do sedimento e ocasionar mudanças na química do substrato em que vivem (GRAY, 1981). Além disso, o estabelecimento desses organismos nos ambientes depende diretamente da qualidade do local e disponibilidade de recursos para sobrevivência, ou seja, a grande abundância de vestígios sem a parte mole indica a existência de algum fator que contribui para essa possível mortandade encontrada nesses pontos amostrais.

Os resultados sobre a riqueza de táxons apresentaram tendência de aumento nos pontos mais profundos, quando comparados aos perto da costa, fato já observado por Nascimento et al. (2022). Ainda, os autores apontam que DEG01 como um dos mais impactados da plataforma norte em relação aos rejeitos liberados pelo rompimento da barragem de fundão, principalmente por sua proximidade à foz do Rio Doce. Além disso, os autores verificaram que os pontos mais rasos e, conseqüentemente, mais próximos a costas estão sujeitos a receberem maior quantidade da lama de rejeitos, o que pode influenciar diretamente na comunidade da macrofauna bentônica. Já os locais mais profundos e longe da costa (como DEG02, BN01 E ITA02), apresentam uma complexidade de habitat capaz de sustentar uma comunidade biológica com a presença de grupos sensíveis a impactos (NASCIMENTO et al., 2022).

Conclusão

Percebe-se que a maior parte da macrofauna bentônica da plataforma continental norte do Espírito Santo é composta principalmente dos vestígios dos táxons encontrados, indicando a mortandade desses grupos, exigindo maiores estudos para conhecimento e monitoramento desses organismos. Dentre os táxons encontrados, o filo Mollusca foi o mais abundante, sendo a maioria classificada como vestígios (conchas), compreendendo 99,95% do total coletado.

A distância da costa e maiores profundidade são, provavelmente, fatores importantes em relação as perturbações do ambiente, onde locais mais profundos e longe da costa foram capazes de comportar maior riqueza e abundância de organismos, como o ponto BN01, por estarem sujeitos a menos impactos provenientes do continente, em comparação aos demais pontos. O ponto DEG01, que apresentou menor riqueza e abundância, localizado próximo a foz do Rio Doce e da costa, foi o principal local impactado pelo aporte de rejeitos provenientes da barragem de Fundão, Mariana-MG, como indicado em estudos anteriores, mostrando que a presença dessa lama afeta diretamente a estrutura e funcionamento da comunidade de macroinvertebrados bentônicos.

Desta forma, é necessário a continuidade do monitoramento na costa do Espírito Santo para entender melhor sobre os possíveis fatores que influenciam no estabelecimento e permanência da comunidade bentônica.

Referências

- ABSALÃO, R. S. **Discriminação Ambiental entre Associações de Moluscos Macro-Bentônicos ao Largo de Rio Grande, RS, Brasil**. Situação Inverno Primavera. Tese de Mestrado. Universidade do Rio Grande, RS. 1986.
- AMARAL, A. C. Z.; JABLONSKI, S. Conservation of marine and coastal biodiversity in Brazil. **Conservation Biology**, v. 19. n. 3, p. 625-631. 2005.
- BERNARDINO, A. F.; PAIS, F. S.; OLIVEIRA, L. S.; GABRIEL F. A.; FERREIRA, T. O.; QUEIROZ, H. M.; MAZZUCO, A. C. A. Chronic trace metals effects of mine tailings on estuarine assemblages revealed by environmental DNA. **PeerJ**, v. 7, p. 1-18, 2019.
- BICUDO, C. E. M., BICUDO, D. C. Amostragem em Limnologia. Rima, São Carlos-SP. p. 346, 2004.
- DOMINGOS I.; GAMEIRO C.; FERREIRA A.; ADÃO H.; AMORIM A.; BROTAS V.; CABRAL H.; CHAINHO P.; COSTA J. L.; GORDO L. S.; NEWTON A.; SOUSA F.; TEIXEIRA H.; VIEIRA A.R.; ZILHÃO R.; BRITO A. C. Ecossistemas da Plataforma Continental. **DGRM**, Lisboa, Portugal. 2017.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

GOMES, A. S., Palma, J. J., Silva, C. G Causas e Consequências do Impacto Ambiental da Exploração dos Recursos Minerais Marinhos. **Revista Brasileira de Geofísica**, Niterói/RJ, v. 18, n. 3. 2000.

GOMES, L. E. O.; CORREA, L. B.; SÁ, F.; NETO, R. R.; BERNARDINO, A. F. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 120, p. 28-36, 2017.

GRAY, J. S. The ecology of Marine Sediments. **Cambridge University Press**, 1981.

HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p., 2001.

IBAMA. **Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**, 2015. Disponível em: <https://jornalismosocioambiental.files.wordpress.com/2016/01/laudo-preliminar-do-ibama-sobre-mariana.pdf>. Acessado em: 10 de agosto de 2023.

KIDWELL, S. M. Ecological fidelity of open marine molluscan death assemblages: effects of post-mortem transportation, shelf health, and taphonomic inertia. **Lethaia**, v. 41, n. 3, p. 199-217, 2008.

LANA, P. C., CAMARGO, M. C., BROGIM, R. A., ISAAC, V. J. Avaliação Potencial Sustentável de recursos vivos na zona econômica exclusiva - **REVIZEE- O Bentos da Costa Brasileira**. p. 431, 1996.

LOPES, A. C. S., MORAIS, D., BARBIERI, J. C. Caso Samarco: Usando a Gestão de Riscos e os Princípios da Prevenção e Prevenção em Desastres Ambientais. **SIMPOI**, Escola de Administração de Empresas de São Paulo, SP, 2016.

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

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., F. SÁ, LONGO, L. L. The Fundão dam failure: Iron ore tailing impact on marine benthic macrofauna. **Science of The Total Environment**, v. 838, p. 156-205, 2022.

ROCHA, C.A., MARTINS, I.X. Estudo da malacofauna bentônica na plataforma continental do litoral oeste do estado do Ceará, Brasil. **Arq. Cien. Mar.** Fortaleza, 1998.

SANTOS, D. L. **Caracterização da fauna bentônica da plataforma continental do Rio Doce-ES**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. 2019.

SILVA, A. F. D. **Distribuição dos moluscos bentônicos e sua relação com o sedimento na plataforma continental da região semiárida do Nordeste do Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará. 2014.

Agradecimentos

A Universidade Federal do Espírito Santo – UFES pela infraestrutura, a Fundação Renova pelo financiamento, como parte do 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.