UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE

RAYSSA DE ALMEIDA VIANA

Avaliação da qualidade ambiental da Baía do Almirantado, Antártica, com ênfase em
elementos metálicos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e foraminíferos

São Paulo
2021

RAYSSA DE ALMEIDA VIANA

Avaliação da qualidade ambiental da Baía do Almirantado, Antártica, com ênfase em elementos metálicos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e foraminíferos

Versão corrigida

Dissertação apresentada a Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade.

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora no dia 05 de março de 2021. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Área de concentração: Ciência e Tecnologia

Orientadora: Prof.^a Dra. Wânia Duleba

São Paulo
2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)
CRB 8 -4936

Viana, Rayssa de Almeida

Avaliação da qualidade ambiental da Baía do Almirantado, Antártica, com ênfase em elementos metálicos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e foraminíferos / Rayssa de Almeida Viana ; orientadora, Wânia Duleba – 2021.

154 f : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo
Versão corrigida

1. Ecologia marinha - Antártica. 2. Monitoramento biológico - Antártica. 3. Monitoramento ambiental - Antártica. 4. Foraminífera - Antártica. 5. Poluição da água. 6. Hidrocarbonetos policíclicos. 7. Hidrocarbonetos aromáticos. I. Duleba, Wânia, orient. II. Título

CDD 22.ed. – 577.709167

Nome: VIANA, Rayssa de Almeida

Título: Avaliação da qualidade ambiental da Baía do Almirantado, Antártica, com ênfase em elementos metálicos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e foraminíferos.

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências do Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade.

Área de concentração: Ciência e Tecnologia

Aprovado em: 05/03/2021

Banca examinadora

Prof.^a Dra. Maria Virgínia Alves Martins

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Prof.^a Dra. Rosalinda Carmela Montone

Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico – IO/USP

Prof.^a Dra. Wânia Duleba

Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades – EACH/USP

A minha avó, Maria de Lourdes Finori de Almeida (*in memorian*) e as minhas
companheiras felinas Cacau e Bisteca (*in memorian*)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha orientadora e “mãe científica” Prof.^a Dr.^a Wânia Duleba pelo suporte e orientação durante esses anos de mestrado e iniciação científica. Obrigada por todo o conhecimento compartilhado e por ter sido minha inspiração como cientista desde a primeira aula sua que assisti. Sempre lembrarei com carinho da sua paixão pelo trabalho.

A minha avó materna Maria de Louders Finori de Almeida, que me criou e acabou indo cedo demais e não pôde ver essa conquista do qual ela tanto sonhou. Uma pessoa que valorizava o conhecimento que tão cedo lhe foi negado.

A minha irmã Kajila Rafaela de Almeida Viana pelas palavras de incentivo e afeto, não sou nada sem você. Agradeço também ao meu irmão Rafael Ferreira de Almeida, nós três compartilhamos momentos bons e difíceis, e hoje sinto que posso contar com vocês para tudo.

Agradeço a toda minha família, principalmente a minha mãe Roseli Ferreira de Almeida. Obrigada por todo apoio e compreensão durante a busca pelo sonho de ser cientista.

Ao Wayner de Souza Klen pela parceria durante esses anos. Com certeza as coisas teriam sido mais difíceis sem você.

A minha amiga Caroline Bertocco Garcia por todas as risadas, histórias, incentivo e pelos bons momentos que compartilhamos até hoje.

Aos meus “irmãos científicos” Camila Cunha Passos, Leonardo Antônio Pregolato e Maria Carolina Hernandez Ribeiro. Obrigada por todas as conversas, cafés, momentos de descontração e principalmente, pelo apoio pessoal e acadêmico. Realmente, não fazemos nada sozinhos na vida e sem o auxílio de vocês não teria chegado tão longe.

A todos os meus amigos de vida, colegas de graduação e pós-graduação da EACH-USP que fizeram da minha jornada até aqui mais leve. A todos os professores dos quais tive a honra de conviver e que também me incentivaram a seguir a carreira de professora do qual não me arrependo de ter escolhido.

A Prof.^a Dr.^a Rosalinda Carmela Montone pela coleta das amostras, análises químicas e apoio financeiro essencial ao desenvolvimento desse projeto.

Ao Grupo Base Órion (Diniz, de Carvalho, Cunha, de Melo), aos pesquisadores peruanos (José Manuel Herrera e Bernabé Moreno) e do IBAMA (Cristiane Oliveira e Marlova Intini) pela preciosa ajuda durante as coletas.

A todos os cientistas e pesquisadores desse país que apesar das dificuldades exercem a profissão com excelência e ética. Desejo a todos nós força e coragem para prosseguir com essa profissão feita com tanta dedicação.

As minhas gatinhas Cacau e Bisteca, espero que vocês tenham desfrutado de uma boa vida e que eu tenha conseguido retribuir toda a felicidade que eu desfrutava só de tê-las ao meu lado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001 - pelo apoio financeiro por meio de concessão de bolsa durante a minha pesquisa.

“O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano”

(Sir Isacc Newton)

RESUMO

VIANA, Rayssa de Almeida. **Avaliação da qualidade ambiental da Baía do Almirantado, Antártica, com ênfase em elementos metálicos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e foraminíferos.** 2021. 154f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Versão corrigida.

Em 2012, cerca de 70% da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), situada na Baía do Almirantado (BA), foi destruída por um incêndio acidental. Após o incidente, a Marinha do Brasil e o Ministério do Meio Ambiente coordenaram a retirada de destroços e solos contaminados, que foram trazidos para o Brasil. Paralelamente, ao processo de recuperação ambiental, a nova EACF começou a ser construída. Com intuito de avaliar se resíduos do incêndio e da construção foram drenados para o mar, foram realizadas análises geoquímicas (elementos metálicos, metaloides), de poluentes (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - HPAs) e da meiofauna (foraminíferos) de 21 amostras, coletadas em várias localidades da BA, em 2016 e 2018. A rede amostral situou-se entre isóbatas de 20 e 60m, abrangendo dois transectos situados em frente aos antigos tanques de combustíveis e ao heliponto que foram destruídos pelo fogo, bem como em outros pontos distribuídos nas enseadas Martel e Mackellar (desembocadura). Os sedimentos analisados são litoclásticos (>16% de CaCO_3) predominantemente siltico-arenosos, com matéria orgânica de origem marinha ou mista ($\text{C/N} < 6,6$) e baixos valores de HPAs ($< 370 \text{ ng.g}^{-1}$). Os elementos metálicos Cr, Pb, Hg e Zn estão abaixo de TEL estabelecido pela Legislação Canadense e do nível 1 da Resolução brasileira CONAMA 454/2012. Os valores de As, Cu, Cd e Ni de várias amostras estão entre TEL e PEL e tendem a ser mais elevados próximos ao Refúgio brasileiro Cruls na enseada Mackellar, principalmente em 2018. Contudo, valores de Igeo sugerem que não há contaminação na BA e que os elementos analisados são provavelmente de origem crustal. Os dados da meiofauna reforçam essa interpretação de ausência de contaminação antrópica. A biocenose caracteriza-se pela dominância das espécies calcárias *Globocassidulina subglobosa* e *Pseudobolivina antartica*, bem como por baixos valores de densidade ($< 63 \text{ especimens/100cm}^{-3}$) e riqueza (< 16 espécies). Em 2018, os valores de densidade de foraminíferos vivos diminuem sensivelmente (média $25 \text{ especimens/20cm}^{-3}$). De modo geral, os maiores valores de densidade são observados nos pontos amostrais da isóbata de 60m, situados em frente aos tanques e heliponto. Análises estatísticas mostram correlações significativas entre porcentagem de lama, valores de metais, HPAs e as espécies de *Globocassidulina subglobosa*, *Eggerella minuta* e *Adarcotryma glomeratum*.

Essas espécies foram encontradas em toda região da BA em 2016 e 2018 e têm como característica principal comportamento oportunista de fácil adaptação a ambientes instáveis, sujeitos à degelos durante verão austral e aporte esporádicos de matéria orgânica. A partir dos dados geoquímicos, de poluentes e da biocenose de foraminíferos é possível inferir que não há fortes indícios de poluição antrópica na BA. Os dados de biocenose, realizados pela primeira vez na BA, podem ser utilizados como uma base de referência para compreender impactos naturais ou antropogênicos em ecossistemas antárticos costeiros.

Palavras-chave: Foraminíferos bentônicos. Antártica. Biomonitoramento. Poluição. Elementos metálicos, metalóides e HPAs.

ABSTRACT

VIANA, Rayssa de Almeida. **Environmental quality assessment of the Admiralty Bay, Antarctica, using metallic elements, polycyclic aromatic hydrocarbons and foraminifera**. 2021. 154p. Master's Thesis (Master of Science) - School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2021. Corrected version.

In 2012, about 70% of the Comandante Ferraz Antarctic Station (EACF), which is in Admiralty Bay (AB), was destroyed by an accidental fire. After the incident, the Brazilian Navy and the Ministry of the Environment coordinated the removal of debris and contaminated soil, which was brought back to Brazil. In parallel with the environmental recovery process, the construction of the new EACF began. To assess whether debris from the fire and construction was drained into the sea, geochemical (metal elements, metalloids), pollutant (polycyclic aromatic hydrocarbons - PAHs), and meiofauna (foraminifera) analyses of 21 samples, collected at various locations in AB, were conducted in 2016 and 2018. The sampling network was between 20 and 60m isobaths, covering two transects located in front of the former fuel tanks and helipad that were destroyed by fire, as well as at other points distributed in Martel and Mackellar inlets (mouth). The sediments analyzed are lithoclast (>16% CaCO₃) predominantly sandy silt, with organic matter of marine or mixed origin (C/N <6.6), and low values of PAHs (<370 ng.g⁻¹). The metallic elements Cr, Pb, Hg, and Zn are below TEL (Threshold Effect Level) established by Canadian Legislation and level 1 of the Brazilian Resolution CONAMA 454/2012. As, Cu, Cd, and Ni values of several samples are between TEL and PEL (Probable Effect Level) and tend to be higher near the Brazilian Astronomer Cruls Refuge at Mackellar Cove, especially in 2018. However, Geoaccumulation index (I_{geo}) values suggest that there is no contamination in AB, and that the elements analyzed are probably of crustal origin. The meiofauna data reinforces the interpretation that there is no anthropogenic contamination. The biocoenosis is characterized by the dominance of the calcareous species *Globocassidulina subglobosa* and *Pseudobolivina antarctica*, as well as by low values of density (<63 specimens/100cm⁻³) and richness (<16 species). In 2018, density of living foraminiferal values decrease appreciably (average 25 specimens/100cm⁻³). In general, the highest density values are observed at the 60m isobath sampling points, located in front of the tanks and helipad. Statistical analyses show significant correlations between mud percentage, metal values, PAHs, and the species *Globocassidulina subglobosa*, *Eggerella minuta*, and *Adercotryma glomeratum*. These species were found throughout the AB region in 2016 and 2018 and have as a main

characteristic opportunistic behavior of easy adaptation to unstable environments subject to thaws during austral summer and sporadic inputs of organic matter. From the geochemical, pollutant, and foraminiferal biocoenosis data, it is possible to infer that there is no strong evidence of anthropogenic pollution in AB. The biocoenosis data, performed for the first time in BA, may be used as a baseline to understand natural or anthropogenic impacts on coastal Antarctic ecosystems.

Key-words: Benthic foraminifera. Antarctic. Biomonitoring. Pollution. Metals and PAHs.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - EACF depois da reforma de 2005/2006. -----	33
Figura 2 - Incêndio ocorrido no dia 25 de fevereiro de 2012.-----	34
Figura 3 - Nova EACF inaugurada em 15 de janeiro de 2020.-----	35
Figura 4 - Referencial geográfico da Península Antártica, Ilhas Shetland do Sul, Ilha Rei George e Baía do Almirantado com pontos de coleta representados pelos marcadores vermelhos.-----	38
Figura 5 - Pontos amostrais Tanques e Heliponto. -----	42
Figure 6 - Difratômetro a laser MALVERN 2000 ® do IGc- USP. -----	45
Figura 7 - Procedimento analítico para cálculo CaCO ₃ Total (COT).-----	46
Figura 8 - Ataque ácido para eliminação de CaCO ₃ e fitas de pH utilizadas no processo de averiguação da acidez das amostras. -----	47
Figura 9 - Encapsulamento das amostras pré-análise de Nitrogênio total (NOT).-----	47
Figura 10 - Metodologia para análise de foraminíferos bentônicos realizada no LACITE-EACH/USP. Imagem 1) Potes de armazenamento e alíquota retirada (10 cm ³), 2) Lavagem das amostras nas peneiras de 0,500 µm e 0,063 µm, 3) Filtragem das amostras, 4) Análise por densimétrica por flotação-afundamento em tricloroetileno (C ₂ HCl ₃).---	53
Figura 11 - Metodologia para análise de foraminíferos em laboratório 1) estereomicroscópio Zeiss Stemi SV6, com aumentos 40 a 80x. 2) Material depois de seco na estufa a 60°, com predominância de diatomáceas. 3) lâminas de fundo preto com as carapaças fixadas com goma adragante. -----	54
Figure 12 - Espécie <i>Fursenkoina riggii</i> corada com rosa de bengala e não corada (50 µm). -----	55
Figura 13 - Mapa de distribuição de porcentagens de areia e lama em cada ponto de coleta da Baía do Almirantado (BA), Ilha Rei George. – OPXXXV (2016).-----	59
Figura 14 - Mapa de distribuição da classificação da origem da matéria orgânica a partir da razão C/N (Stein, 1991) nas amostras coletadas na BA- OPXXXV (2016). Os círculos com cores diferentes indicam a procedência predominante da matéria orgânica de acordo com a legenda da imagem. -----	60
Figura 15 - Concentração dos elementos: As (Arsênio), Cr (Crômio), Cu (Cobre) e Zn (Zinco) em µg.g ⁻¹ que apresentaram valores significativos nas amostras coletadas na Baía do Almirantado - OPXXXV 2016. -----	62

Figura 16 - Gráfico referente aos valores de HPAs totais nos sedimentos das amostras coletadas na Baía do Almirantado - OPXXXV (2016). Todas as amostras encontram-se abaixo dos valores de TEL (1684 ng. g ⁻¹). -----	63
Figura 17 - Distribuição de espécies dominantes (ind.100cm ⁻³) na biocenose em cada ponto de coleta realizada na Baía do Almirantado.-----	65
Figura 18 - Densidade (ind.100cm ⁻³) e valores de Riqueza (S) dos foraminíferos vivos das amostras coletadas na Baía do Almirantado, durante a OPXXXV (2016). -----	66
Figura 19- Valores de diversidade de Shannon, dominância de Simpson e equitatividade das biocenoses e tanatocenoses em amostras coletadas na Baía do Almirantado em novembro de 2016. -----	67
Figura 20 - Morfometria de carapaças de foraminíferos vivos dos pontos de coleta na Baía do Almirantado durante a OPXXXV (novembro de 2016).-----	68
Figura 21 - Distribuição dos grupos indicados pelo dendograma referente a biocenose das amostras coletadas na Baía do Almirantado - OPXXXV (2016).-----	68
Figura 22 - Dendograma baseado na similaridade de Bray-Curtis com nível de corte indicado pela linha tracejada referente a biocenose das amostras coletadas na Baía do Almirantado durante a OPXXXV (2016).-----	69
Figura 23 - Distribuição de espécies dominantes (ind.100cm ⁻³) na tanatocenose 2016 em cada ponto de coleta realizada na Baía do Almirantado. -----	71
Figura 24 - Densidade (ind.100cm ⁻³) e valores de Riqueza (S) de foraminíferos na tanatocenose das amostras coletadas na Baía do Almirantado na OPXXXV (2016). ---	72
Figura 25 - Morfometria de carapaças de foraminíferos mortos dos pontos de coleta na Baía do Almirantado - OPXXXV (2016).-----	74
Figura 26 - Dendograma baseado na similaridade de Bray-Curtis com nível de corte indicado pela linha tracejada referente a tanatocenose das amostras coletadas na Baía do Almirantado - OPXXXV (2016). -----	75
Figura 27- Distribuição dos grupos indicados pelo dendograma referente a tanatocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXV (2016).-----	76
Figura 28 - Mapa de distribuição de porcentagem de areia e lama em cada ponto de coleta da Baía do Almirantado, Ilha Rei George. – OPXXXVI (2018). -----	78
Figura 29 - Mapa de distribuição da classificação da origem da matéria orgânica, a partir da razão C/N (STEIN, 1991) nas amostras coletadas na Baía do Almirantado - OPXXXVI (2018). -----	79

Figura 30 - Gráfico referente aos valores de HPAs totais nos sedimentos das amostras coletadas na BA- OPXXXV (2018). Todas as amostras encontram-se abaixo dos valores de TEL (1684 ng. g ⁻¹). -----	81
Figura 31 - Concentração dos elementos: As (Arsênio), Cr (Crômio), Cu (Cobre) e Zn (Zinco) em µg.g ⁻¹ que apresentaram valores significativos nas amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018).-----	82
Figura 32 - Densidade de foraminíferos em 100cm ³ de sedimento triado e valores de Riqueza (S) de foraminíferos vivos das amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018). -----	85
Figura 33 - Distribuição de espécies dominantes (ind.100 ⁻³) na biocenose em cada ponto de coleta realizada na BA - OPXXXVI (2018).-----	86
Figura 34 - Índices Ecológicos das espécies coletadas na OPERANTAR 36 - 2018.---	87
Figura 35 - Morfometria de carapaças de foraminíferos vivos dos pontos de coleta na BA - OPXXXI (2018).-----	87
Figura 36 - Dendograma baseado na similaridade de Bray-curtis com nível de corte indicado pela linha tracejada referente a biocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018). -----	89
Figura 37 - Distribuição dos grupos indicados pelo dendograma referente a biocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXV (2018).-----	90
Figure 38 - Distribuição de espécies dominantes (ind.100 ⁻³) na tanatocenose em cada ponto de coleta realizada na Baía do Almirantado - OPXXXVI (2018).-----	91
Figura 39 - Densidade (ind.100cm ⁻³) e valores de Riqueza (S) da tanatocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018). -----	92
Figura 40 - Morfometria de carapaças de foraminíferos mortos dos pontos de coleta na BA - OPXXXVI (2018).-----	94
Figura 41 - Distribuição dos grupos indicados pelo dendrograma referente a tanatocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018).-----	95
Figura 42 - Distribuição dos grupos indicados pelo dendograma referente a tanatocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018).-----	96
Figure 43 - Análise de Componentes Principais (ACP) profundidade, % de Areia e Lama, % de CaCO ₃ , HPAs, elementos metálicos e metalóides (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Sc, Fe, Ni, Pb, Se e Zn), espécies <i>Adercotryma Glomeratum</i> (Ag), <i>Bolivinella pacifica</i> (Bp), <i>Cassidulinoides parkeriana</i> (Cp), <i>Cornuspira involvens</i> (Ci), <i>Deuterammina grisea</i> (Dg), <i>Eggerella minuta</i> (Em), <i>Epistominella exígua</i> (Ee), <i>Fursenkoina riggi</i> (Fr),	

Globocassidulina biora (Gb), *Globocassidulina crassa* (Gc), *Globocassidulina subglobosa* (Gs), *Globocassidulina* spp. (Gspp.), *Glomospira irregularis* (Gi), *Lepdoparatrochammina lepida* (Ll), *Leptohalysis catella* (Lc), *Loeblichopsis sabulosa* (Ls), *Pseudobolivina antartica* (Pa), *Pseudonodosinella nodulosa* (Pn), *Reussoolina apiculata* (Ra), *Reophax fusiformis* (Rf), *Spiroplectammina biformis* (Sb), *Textularia wiesneri* (Tw) e N.I (não identificado) (N.i) compostas pela PC1 e PC2 da Análise de Componentes Principais (ACP) da biocenoses das amostras coletadas na BA em 2016 e 2018. -----100

Figura 44 - Diagrama de ordenação produzida pela Análise de Correlação Canônica com as variáveis referentes as biocenoses das amostras coletas na BA em 2016 e 2018. ---101

Figura 45- Análise de Componentes Principais (ACP) de % de Areia e Lama, % de CaCO₃, HPA's, Metais (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sc, Zn e Hg) e as espécies *Adercotryma Glomeratum* (Ag), *Bolivinella pacifica* (Bp), *Cassidulinoides parkeriana* (Cp), *Cornuspira involvens* (Ci), *Cibicidoides wuellerstorffi* (Cw), *Deuterammina grisea* (Dg), *Epistominella exigua* (Ee), *Eggerella minuta* (Em), *Fursenkoina riggi* (Fr), *Globocassidulina biora* (Gb), *Globocassidulina crassa* (Gc), *Globocassidulina subglobosa* (Gs), *Globocassidulina* spp. (Gspp.), *Glomospira irregularis* (Gi), *Lepdoparatrochammina lepida* (Ll), *Leptohalysis catella* (Lc), *Loeblichopsis sabulosa* (Ls), *Pseudobolivina antartica* (Pa), *Nonionella* spp. (Nspp.), *Milliamina arenacea* (Ma), *Reussoolina apiculata* (Ra), *Reophax scorpiurus* (Rs), *Reophax* spp (Rspp.), *Spiroplectammina biformis* (Sb) e *Textularia wiesneri* (Tw) compostas pela PC1 e PC2 da Análise de Componentes Principais (ACP) das tanatocenoses das amostras coletadas na BA -----105

Figura 46 - Diagrama de ordenação produzida pela Análise de Correlação Canônica com as variáveis referentes as tanatocenoses das amostras coletas na BA. -----106

Lista de Tabelas

Tabela 1- Descrição das amostras coletadas em campo, batimetria e referencial geográfico.....	43
Tabela 2 - limite de detecção do método LDM e limite de quantificação LQM em $\mu\text{g.g}^{-1}$	49
Tabela 3 - Graus de Enriquecimento segundo Sutherland (2000).....	51
Tabela 4 - Classificação da qualidade dos sedimentos segundo Müller (1979).....	51
Tabela 5- Interpretação dos valores de p para correlação de Sperman.....	58
Tabela 6 - Valores em porcentagem de distribuição granulométrica segundo Wentworth (1922), classificação do sedimento segundo Shepard (1954) e grau de seleção segundo Folk & Ward (1957). Classificação de Larssonneur et al. (1982) para os sedimentos das amostras coletadas na BA e teores em porcentagens de CaCO_3 . Concentração de Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT), razão C/N e classificação da origem da matéria orgânica segundo Stein (1991) nos pontos de coleta dentro da BA - OPXXXV (2016).	61
Tabela 7 - Concentração de metais e metalóides (em $\mu\text{g.g}^{-1}$), teores de HPA's totais (em ng.g^{-1}) e valores de referência (CONAMA- 454/2012; CCME, 2002) nas amostras coletadas dentro da Baía do Almirantado - OPXXXV (2016). Onde nd = não detectado por ser menor que o limite de detecção e * = valores não quantificados. Os valores acima dos valores de referência estão destacados em negrito.	64
Tabela 8 - Valores médios e desvio padrão de densidade em 100 cm^{-3} de sedimento, riqueza de espécies (S), índice de Simpson (1-D), Shannon-Whiener (H'), Equitativida de (E) e espécies dominantes dos grupos formados pelo dendograma nas amostras de biocenose da Baía do Almirantado - OPXXXV (2016).....	70
Tabela 9 - Valores médios e desvio padrão de densidade ($\text{ind.}100\text{cm}^{-3}$), riqueza de espécies (S), índice de Simpson (1-D), Shannon- Whiener (H'), Equitatividade (E) e espécies dominantes dos grupos formados pelo dendograma nas amostras de tanatocenose das amostras coletadas na Baía do Almirantado – OPXXXV 2016.	76
Tabela 10 - Valores em porcentagem de distribuição granulométrica segundo Wentworth (1922) e teores em porcentagem de CaCO_3 e classificação de Larssonneur et al. (1982), Concentração de Carbono orgânico total (COT), Nitrogênio total (NT), razão C/N e Classificação da origem da matéria orgânica segundo Stein (1991) nos pontos de coleta na.....	80

Tabela 11 - Concentração de elementos metálicos e metaloides, teores de HPAs totais (ng.g ⁻¹) nas amostras coletadas dentro da Baía do Almirantado - OPXXXVI (2018) e valores de referência (CONAMA- 454/2012; CCME, 2002). Onde nd = valor não detectado/ menor que o limite o limite de detecção e *= valores não quantificados. Valores acima dos valores de referência destacados em negrito.....	83
Tabela 12 - Valores médios e desvio padrão de densidade em 100cm ³ de sedimento triado, riqueza de espécies (S), índice de Simpson (1-D), Shannon- Whinner (H'), Equitatividade (E) e espécies dominantes dos grupos formados pelo dendograma nas amostras de biocenose das amostras coletadas na B.A - OPXXXV (2018).....	90
Tabela 13 - Valores médios e desvio padrão de densidade em 100cm ³ de sedimento triado, riqueza de espécies (S), índice de Simpson (1-D), Shannon-Wiener (H'), Equitatividade (E) e espécies dominantes dos grupos formados pelo dendograma nas amostras de tanatocenose das amostras coletadas na BA – OPXXXVI (2018).....	96
Tabela 14 - Fatores de carga das variáveis profundidade, % de Areia e Lama, % de CaCO ₃ , HPAs, Metais (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sc, Zn e Ar), espécies <i>Adercotryma Glomeratum</i> (Ag), <i>Bolivinella pacifica</i> (Bp), <i>Cassidulinoides parkeriana</i> (Cp), <i>Cornuspira involvens</i> (Ci), <i>Deuterammia grisea</i> (Dg), <i>Eggerella minuta</i> (Em), <i>Epistominella exigua</i> (Ee), <i>Fursenkoina riggi</i> (Fr), <i>Globocassidulina biora</i> (Gb), <i>Globocassidulina crassa</i> (Gc), <i>Globocassidulina subglobosa</i> (Gs), <i>Globocassidulina spp.</i> (Gspp.), <i>Glomospira irregularis</i> (Gi), <i>Lepdoparatrochammina lepida</i> (Ll), <i>Leptohalysis catella</i> (Lc) , <i>Loeblichopsis sabulosa</i> (Ls), <i>Pseudobolivina antartica</i> (Pa), <i>Pseudonodosinella nodulosa</i> (Pn), <i>Reussoolina apiculata</i> (Ra), <i>Reophax fusiformis</i> (Rf), <i>Spiroplectammia biformis</i> (Sb), <i>Textularia wiesneri</i> (Tw) e N.I (não identificado) (N.I) compostas pela PC1 e PC2 da Análise de Componentes Principais (ACP) da biocenose das amostras coletadas na BA em 2016 e 2018.....	98
Tabela 15 - Fatores de carga das variáveis profundidade, % de Areia e Lama, % de CaCO ₃ , HPAs, Metais e metalóides (Al, As, Cd, Cr, Cu, Sc, Fe, Ni, Pb, Se, Hg e Zn), espécies <i>Adercotryma glomeratum</i> (Ag), <i>Bolivinella pacifica</i> (Bp), <i>Cassidulinoides parkeriana</i> (Cp), <i>Cornuspira involvens</i> (Ci), <i>Cibicidoides wuellerstorffi</i> (Cw), <i>Deuterammia grisea</i> (Dg), <i>Epistominella exigua</i> (Ee), <i>Fursenkoina riggi</i> (Fr), <i>Globocassidulina biora</i> (Gb), <i>Globocassidulina crassa</i> (Gc), <i>Globocassidulina subglobosa</i> (Gs), <i>Globocassidulina spp.</i> (Gspp.), <i>Glomospira irregularis</i> (Gi), <i>Lepdoparatrochammina lepida</i> (Ll), <i>Leptohalysis catella</i> (Lc), <i>Loeblichopsis sabulosa</i> (Ls), <i>Pseudobolivina antartica</i> (Pa), <i>Nonionella spp.</i> (Nspp.), <i>Milliamina arenacea</i> (Ma),	

<i>Reussoolina apiculata</i> (Ra), <i>Reophax scoriurus</i> (Rs), <i>Reophax spp.</i> (Rspp.), <i>Spiroplectammina biformis</i> (Sb) e <i>Textularia wiesneri</i> (Tw) compostas pela PC1 e PC2 da Análise de Componentes Principais (ACP) das tanatocenoses das amostras coletadas na B.A.	103
Tabela 16 – Comparação de teores de HPAs em sedimentos de diferentes regiões na Antártica.	109
Tabela 17- Comparação de teores de metais em sedimentos de estudos realizados em diferentes áreas na região Antártica.	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGI	Ano Geofísico Internacional
ASMA	Área Especialmente Gerenciada
BA	Baía do Almirantado
CNPq/MCT	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
EACF	Estação Antártica Comandante Ferraz
EACH	Escola de Artes, Ciências e Humanidades
GAAm/Proantar	Grupo de Avaliação Ambiental do Programa Antártico Brasileiro
HPAs	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IGc	Instituto de Geociências
LACITE	Laboratório de Ciências da Terra
LabSed	Laboratório de Sedimentologia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MonitorAntar	Monitoramento ambiental da área de influência direta da Estação Antártica Comandante Ferraz
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
PA	Península Antártica
POLANTAR	Política Nacional para Assuntos Antárticos
PROANTAR	Programa Antártico Brasileiro
SCAR	Scientific Committee on Antarctic Research
USP	Universidade de São Paulo
TEL	<i>Threshold Effect Level</i>
PEL	<i>Probable Effect Level</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ERL	<i>Effects range – low</i>
ERM	<i>Effects range – médium</i>
WSW	west-southwest
NWN	west-northwest

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.2 Foraminíferos e seu uso como biodindicadores	27
2.3 Brasil na Antártica e estudos de biomonitoramento realizados na Baía do Almirantado	30
2.3.1 Estação Antártica Comandante Ferraz	32
2.3.2 Brasil e monitoramento da Baía do Almirantado	36
2.4 Área de Estudo	37
2.4.1 Ilha Rei George	37
2.4.2 Baía do Almirantado	38
2.4.3 Contexto Geológico/Geomorfológico	38
2.4.4 Características oceanográficas	39
2.4.5 Clima	39
3 OBJETIVOS	41
3.1 Objetivo Geral	41
3.2 Objetivos Específicos	41
4 MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.1 Procedência das amostras	42
4.2 Coleta de sedimentos em campo	44
4.3 Preparação de amostras para análises granulométricas e geoquímicas (LACITE) EACH-USP e Laboratório de preparação de amostras – IGc-USP.....	44
4.4 Análise granulométrica - Laboratório de Sedimentologia (LabSed) IGc-USP.....	45
4.5 Análise de Carbonato de Cálcio e de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio (N) – Laboratório de Química Orgânica Marinha (LabQOM) IO-USP	45
4.6 Análise de metais e metaloides por espectrometria de emissão ótica com plasma individualmente acoplado (ICP-OES) - Laboratório de Química Inorgânica Marinha – LAQIMar (IO-USP)	48
4.6.1 Análise de contaminação	49

4.7 Análise de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) - Laboratório de Química Orgânica Marinha do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (LabQOM) IO-USP	52
4.8 Análise de foraminíferos bentônicos no Laboratório de Ciências da Terra – (LACITE) EACH - USP	53
4.9 Análise e interpretação de dados	55
4.9.1 Descritores biológicos, parâmetros populacionais e índices ecológicos	55
4.9.2 Análises Estatísticas Multivariadas	57
5 RESULTADOS	59
5.1 OPERANTAR 35 – 2016.....	59
5.1.1 Granulometria, teores de carbonato, C, N e razão C/N.....	59
5.1.2 Elementos metálicos, metaloides e Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPAs) OP2016.....	62
5.1.3 Análise de foraminíferos - Biocenose OP2016.....	65
5.1.4 Análise de foraminíferos - Tanatocenose OP2016	71
5.2 OPERANTAR 36 – 2018.....	78
5.2.1 Granulometria, teores de carbonato, C, N e razão C/N.....	78
5.2.2 Elementos Metálicos, Metaloides e Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPAs) - OP2018.....	81
5.2.3 Análise de foraminíferos - Biocenose – OP2018.....	84
5.2.4 Análise de foraminíferos - Tanatocenose – OP2018.....	91
5.3 Análises estatísticas multivariadas	97
5.3.1 Correlação de Sperman	97
5.3.2 Análise de Componentes Principais (ACP).....	98
5.3.3 Análise de Correlação Canônica (ACC)	100
5.3.5 Correlação de Sperman	102
5.3.6 Análise de Componentes Principais (ACP).....	102
5.3.7 Análise de Correlação Canônica (ACC)	106
6 DISCUSSÃO	107
6.1 Parâmetros físico-químicos e granulometria.....	107
6.2 Metais, Metalóides e Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPAs).....	108
6.3 Dados de Foraminíferos.....	113
6.3.1 Biocenoses 2016 x 2018.....	114

6.3.2 Tanatocenoses 2016 x 2018.....	117
7 CONCLUSÕES.....	120
REFERÊNCIAS.....	122
APÊNDICE	137

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho é um estudo de caracterização ambiental, com ênfase em foraminíferos, de áreas marinhas adjacentes à Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), Baía do Almirantado, Antártica. O referido estudo está inserido em uma pesquisa mais ampla de biomonitoramento da EACF, denominado “*Monitoramento ambiental da área de influência direta da Estação Antártica Comandante Ferraz*” (MonitorAntar, Convênio entre Ministério do Meio Ambiente e a Universidade de São Paulo), que tem por objetivo monitorar a qualidade ambiental dos solos e sedimentos do entorno da estação, após o incêndio da estação ocorrido em 2012.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Elementos metálicos, metaloides e hidrocarbonetos (HPAs)

Estudos de avaliação da qualidade ambiental são importantes para detectar mudanças ambientais nos ecossistemas marinhos. Para verificar se essas alterações são naturais e/ou antropogênicas é necessária a análise acurada de parâmetros físicos, químicos e biológicos (ABESSA; SOUSA; TOMMASI, 2006).

Dentre os parâmetros químicos, elementos metálicos, metaloides e HPAs são extensamente utilizados para avaliar contaminação e riscos ecológicos de áreas marinhas (FÖRSTNER; SALOMONS, 1980; ZHUANG; GAO, 2014; SHIRANI et al., 2020).

Elementos metálicos e metaloides são encontrados naturalmente em reservatórios terrestres, oriundos do intemperismo de rochas crustais, da atividade vulcânica, da combustão de florestas e atividades biogênicas (BEVILACQUA et al., 2009). Eles também podem ser provenientes de atividades antropogênicas, como mineração, atividade industrial, uso de pesticidas e fertilizantes utilizados na agropecuária, bem como descarga de esgotos domésticos e industriais (WEBER; MONTONE, 2006). Especificamente em ambiente antártico, a introdução desses poluentes pode ocorrer de fontes locais como as estações de pesquisa por meio de despejo de esgoto, incineração do lixo, transporte marítimo e combustíveis, como o diesel, e de forma global através da mobilização atmosférica (SANTOS et al., 2005).

Por meio do intemperismo e da erosão, os metais e metaloides presentes nas rochas são desagregados da matriz, carregados para atmosfera e para água e depositados em fundos de rios, mares e lagos (BEVILACQUA et al., 2009). O mesmo processo ocorre com os metais e metaloides provenientes de atividades vulcânicas e antropogênicas, sendo introduzidos e/ou transportados para atmosfera, para corpos d'água e acumulados em sedimentos. Na coluna d'água ou no sedimento, os íons metálicos são complexados ou adsorvidos a ligantes orgânicos e inorgânicos, podendo ser, posteriormente, incorporados pela biota (TREVIZANI et al., 2016).

A capacidade de adsorção e complexação de metais e metaloides no sedimento está diretamente relacionada ao tamanho das partículas sedimentares e quantidade de matéria orgânica disponível no meio. Em sedimentos arenosos (*i.e.*, frações $> 63\mu\text{m}$), a quantidade de metais diminui drasticamente, quando comparada à sedimentos siltosos e argilosos (LIU et al., 1999). Isto ocorre, pois, a fração fina ($< 63\mu\text{m}$) é eletricamente ativa e possui uma grande superfície específica para adsorver os metais (McLAREN; BOWLES, 1985).

Sedimentos além de serem importantes depositários de substâncias orgânicas e metais, também, atuam como fontes potenciais de liberação dos mesmos para o ambiente aquático, tornando-os disponíveis para a incorporação pela biota (MAJER et al., 2014). Espécies químicas metálicas podem ser liberadas para o ambiente por meio de processos bioquímicos, dragagens e bioturbação. Portanto, as propriedades de acúmulo e de redistribuição de espécies químicas nos sedimentos os qualificam como de extrema importância em estudos de avaliação ambiental, pois registram em caráter mais permanente os efeitos de contaminação (BEVILACQUA et al., 2009). Em ambiente marinho esses elementos se incorporam aos ciclos biogeoquímicos por diversos mecanismos e podem vir a ser um problema quando acumulados em grande quantidade (MAJER et al., 2014).

Vários elementos metálicos são importantes para a manutenção da vida na Terra, porém em altas concentrações podem ser prejudiciais à biota e à saúde humana, como o Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Níquel (Ni) que são considerados micronutrientes essenciais para o equilíbrio biológico, mas podem ser tóxicos quando em excesso. Já os elementos metálicos e metaloides como Arsênio (As), Cádmio (Cd), Crômio (Cr), Selênio (Se), Chumbo (Pb) e Mercúrio (Hg) apresentam alta toxicidade em pequenas quantidades (SANTOS et al., 2007; TREVIZANI et al., 2016).

Geralmente é difícil distinguir com exatidão se a origem dos metais e metalóides é natural ou antropogênica nos sedimentos. Contudo, há vários métodos de normalização utilizado para detectar e quantificar concentrações irregulares de metais em sedimentos, como por exemplo Fator de Enriquecimento em contaminantes (KEMP; THOMAS, 1976; SUTHERLAND, 2000; LIU et al., 2003; ABRHAIM; PARKER, 2008;) Índice de Carga de Poluição ou Tomlinson Pollution Index (RAY et al.; 2006) e Índice de Geoacumulação (MULLER, 1979). Uma boa revisão sobre esses índices pode ser vista em o Mozeto, Umbuzeiro e Jardim (2006) e Lima (2008).

Além desses índices, é bastante comum utilizar valores guias de causa-efeito ou guias de Qualidade de Sedimentos (GQS) com intuito de estabelecer relações entre as concentrações (MOZETO et al. 2006). Na Europa e no Canadá, são utilizados os GQS holandeses (IADC/CEDA) e o Padrão Canadense de Qualidade - CCME (MCLAREN; BOWLES 1985; TURNER; MILLWARD, 2002). Nos EUA usa-se o método da United States Environment Protection Agency (USEPA) como norma regulatória ou padrão. Mas, também se usa informalmente o GQS do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2006), para interpretar os teores de metais nos sedimentos e sua respectiva predição de efeitos tóxicos na biota. Já no Brasil usa-se a resolução do CONAMA 454/12 para definir níveis de classificação dos sedimentos de águas salinas e salobras a serem dragadas. A Companhia Ambiental governamental do Estado de São Paulo (CETESB) também utiliza o padrão canadense.

Hidrocarbonetos são compostos químicos formados por átomos de carbono e hidrogênio, estando presentes na natureza como constituintes da matéria orgânica animal e vegetal, bem como um dos principais componentes dos combustíveis fósseis (petróleo bruto, gás natural e carvão), entre eles estão os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), que são compostos com 2 a 7 anéis benzênicos unidos (HARITASH; KAUSHIK, 2009).

Fontes poluidoras de HPAs em ambiente marinho podem ser naturais e antropogênicas. No primeiro caso, são advindos de emissões de fendas nos fundos oceânicos e da queima espontânea de florestas e de combustíveis fósseis. Entretanto, o principal processo de produção de HPAs é proveniente da atividade antropogênica, como por exemplo, pirólise de combustíveis fósseis, derramamentos de óleo de navios-tanque, refinarias e locais de perfuração de petróleo, lançamento de efluentes industriais e domésticos, emissões de motores de veículos (particularmente a diesel), entre muitos (KWON; CHOI, 2014).

No Ambiente Antártico, a principal fonte de HPAs são advindos da queima de combustíveis fósseis, derivados de petróleo, além do esgoto doméstico. As atividades de pesquisa são as principais contribuintes na concentração de HPAs pelo uso de veículos movidos a DFA (*Diesel Fuel Arctic*), querosene e tráfego de embarcações (OLIVEIRA, 2007). Ademais, a introdução pode ocorrer de forma acidental com derramamento de derivados do petróleo e/ou queima de produtos que contenha em sua base os HPAs. Estudos sobre a contaminação por HPAs e seus derivados na Baía do Almirantado vêm sendo realizados nos últimos anos (CRIPPS; PRIDDLE, 1991; KENNICUTT et al., 1995; MARTINS et al., 2004; COLABUONO, 2015; BÍCEGO; ZANARDI-LAMARDO; WEBER, 2003) e mostraram contribuição considerável, principalmente nas regiões em frente à EACF.

Os HPAs são poluentes ubíquos que podem ser detectados nas mais diferentes matrizes ambientais, bióticas e abióticas (DIMASHKI; HARRAD; HARRISON, 2000). Na coluna d'água, os HPAs tendem a se depositar nos sedimentos, e a partir deles os produtos tóxicos podem ser transferidos para os organismos que habitam essa região (CRIPPS; PRIDDLE, 1991). Portanto, a introdução destes compostos no ambiente aquático via diferentes processos, pode resultar na acumulação desses na cadeia alimentar e, em longo prazo, podem afetar os processos biológicos essenciais (KENNICUTTI et al., 1995; SUTILLI et al., 2019) o que na região Antártica é agravado uma vez que o processo de degradação desses compostos ocorre de forma lenta devido aos longos períodos de inverno (OLIVEIRA et al., 2007).

Alguns HPAs são conhecidos ou suspeitos de possuírem características carcinogênicas, mutagênicas e teratogênicas, e assim seu risco potencial à saúde humana e ao meio ambiente não deve ser subestimado (BÍCEGO et al., 2009). A exposição a esses contaminantes presentes nos sedimentos pode trazer efeitos crônicos ou letais, uma vez que podem causar letalidade aguda ou serem biocumulados. Sendo assim, os sedimentos são considerados reservatórios de substâncias tóxicas e faz-se necessária a avaliação contínua de sua qualidade em ambientes sujeitos a poluição. Alguns métodos são utilizados para avaliar a qualidade do sedimento como a abordagem química para qualificar e quantificar a contaminação e/ou estudos ecológicos, relacionados à estrutura e função da comunidade bentônica, na qual a partir da composição das espécies, juntamente com métodos estatísticos multivariados e índices ecológicos são avaliados as possíveis modificações na estrutura da comunidade bentônica (ABESSA; SOUSA; TOMMASI, 2006).

2.2 Foraminíferos e seu uso como biodindicadores

Dados sobre as espécies ocorrentes, densidades populacionais, diversidade e associação, bem como suas variações espaciais, sazonais e temporais são valiosas informações para compreender o funcionamento dos ecossistemas. Devido a isto, métodos de avaliação da qualidade ambiental por meio do uso de organismos são importantes (CALLISTO; MORENO, 2006). Uma excelente ferramenta de avaliação da saúde dos ecossistemas é o biomonitoramento, que aliado aos parâmetros abióticos, fornece subsídios para análise integrada do controle da qualidade da água e do sedimento (BUSS; BAPTISTA; NESSIMIAN, 2003). O biomonitoramento deve ser feito conjuntamente com avaliação físico-química, visto que os organismos respondem aos fatores abióticos.

Quando se trata de estudos envolvendo biomonitoramento, devem ser consideradas ferramentas confiáveis, replicáveis e utilizadas em diversas áreas. Organismos bentônicos preenchem estes requisitos, pois devido aos modos de vida fixo ou com movimentação restrita em relação às fontes de contaminação, é possível extrair uma série de informações do ambiente em que vivem (CALLISTO; MORENO, 2006). Dentre os organismos bentônicos utilizados em biomonitoramento pode-se citar os foraminíferos.

Foraminíferos são protozoários ameboides com pseudópodes finos anastomosados e granulosos, que se reproduzem por alternância de geração sexuada e assexuada (PAWLOSKI et al., 2003). Seu protoplasma pode estar envolvido ou não por carapaças orgânicas, calcárias e/ou aglutinadas, constituídas por partículas sedimentares do meio (LOEBLICH; TAPPAN, 1964). Podem ser classificados como um grupo de protozoários ameboides, ubicados no Super-Grupo SAR; (composto por Stramenopilos, Alveolata e Rhizaria), sendo o Subgrupo Foraminifera parte do Grupo Rhizaria (ADL et al., 2005, 2012)

Foraminíferos surgiram há cerca de 500 M.A., e devido à sua grande adaptabilidade às condições adversas do meio, conseguiram sobreviver às grandes extinções em massa e colonizar diversos ambientes marinhos e estuarinos da Terra (HAQ; BOERSMA 1998). Os protozoários marinhos, incluindo os foraminíferos, apresentam papel significativo em ciclos biogeoquímicos globais fazendo deles, um dos mais importantes grupos de organismos na Terra (ANDERSON, 1988; LEE; ANDERSON,

1991, GLOCK et al., 2013). A diversidade taxonômica fornece a eles potencial para ser utilizada como espécie indicadora para monitoramento de diversas fontes de poluição (MURRAY, 1985)

Além de estudos bioestratigráficos, os foraminíferos são importantes ferramentas em estudos paleoambientais e geoambientais (VILELA; FIGUEIRA; NETO, 2007). Isto porque apresentam características peculiares que os tornam excelentes bioindicadores (SCOTT; MEDIOLI; SCHAFFER, 2001). Dentre essas, podem-se citar: 1) apresentam ciclo de vida curto, respondendo rapidamente às variações abióticas do meio (BOLTOVSKOY; LENA, 1969; WALTON, 1964); 2) são capazes de incorporar diferentes elementos químicos em suas carapaças, sendo, portanto, capazes de registrar a geoquímica do meio em que vivem (YANKO et al, 1994); 3) apresentam ampla distribuição geográfica e ambiental, bem como variabilidade morfológica, sendo facilmente diagnosticáveis (SCOTT; MEDIOLI; SCHAFFER, 2001), 4) são pequenos e abundantes, *i.e.*, em poucos centímetros cúbicos de sedimento é possível obter grandes quantidades de carapaças, permitindo coletar várias amostras a baixo custo e realizar estudos estatísticos confiáveis (LEORRI; HORTON; CEARRETA, 2008; ALVE, 1991;1995).

Como os foraminíferos são capazes de metabolizar compostos químicos e matéria orgânica do meio, isto é refletido, posteriormente, na sua morfologia e na composição de suas associações e de suas carapaças. Em ambientes impactados, há, geralmente, a predominância de espécies oportunista, mais resistentes aos poluentes (DULEBA et al., 2019), com concentrações anômalas de elementos-traços (YANKO; ARNOLD; PARKER, 1999). Esses elementos se incorporam no ciclo biológico por diversos mecanismos na fauna marinha influenciando a concentração e a especiação dos elementos.

Estudos que relacionam a concentração dos elementos metálicos nas águas e nos sedimentos e como eles afetam a composição de foraminíferos não são completamente compreendidos, porém são extremamente importantes uma vez que concentrações elevadas destes podem ser letais. Alguns estudos mostram que elementos traços afetam a diversidade de espécies em áreas poluídas (COCCIONI, 2000; ROS et al., 2020; GUO et al., 2020) e podem causar inibição do crescimento de carapaças (atrofia) e anomalias na morfologia (MCCRONE; SCHAFER, 1966; SETTY; NIGAM, 1984; BOLTOVOSKOY; SCOTT, 1991; ELLISON; BROOME; OGILVIE, 1986; GESLIN et al., 2002).

Estudos realizados por Alve (1991) e Sharifi et al. (1991) mostram que em regiões com altos teores de metais, as associações de foraminíferos apresentam baixa abundância e diversidade de espécies, dominância de espécies oportunistas, deformidade nas carapaças e aumento de carbono orgânico total (COT) (COCCIONI, 2000). Algumas espécies toleram altas concentrações de poluentes, outras acabam se beneficiando com altas concentrações de Ferro (Fe), Magnésio (Mn) e Zinco (Zn). Entretanto, pequenas concentrações de metais, como Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cobre (Cu), e Níquel (Ni) podem afetar negativamente toda a fauna por serem absorvidos mais rapidamente pelas testas comparados a outros metais devido ao seu nível de toxicidade (STUBBLES, 1993; ALVE; OLSGARD, 1999; BONETTI; EICHLER; DEBENAY, 2001; LATIMER; QUINN, 1996; VAN GREN; LUOMA, 1993; YANKO; ARNOLD; PARKER, 1999).

Pouco se conhece sobre a influência de hidrocarbonetos sobre o ciclo de vida e metabolismo dos foraminíferos, contudo, até o momento, sabe-se que experimentos laboratoriais feitos com foraminíferos calcários e aglutinantes mostram que o petróleo bruto inibe o crescimento e reprodução por intoxicação, levando-os até a morte (GUPTA, 1999). Segundo Gupta (1999), é provável que produtos derivados de petróleo causem a diminuição no suprimento de nutrientes, afetando diretamente as associações de foraminíferos.

Também tem sido relatada na literatura anormalidades morfológicas nas carapaças de foraminíferos em locais com altos teores de HPAs (VÉNEC-PEYRÉ, 1981; LEONARDO et al., 2007) e decréscimo da diversidade e abundância de espécies em locais drasticamente poluídos (MAYER-REIL, 1986; YANKO; KRONFELD; FLEXER, 1994; SCHWING et al., 2015). Há vários estudos sobre os efeitos dos hidrocarbonetos na composição das associações de foraminíferos (AKIMOTO et al., 1990; BONETTI; EICHLER; DEBENAY, 2001; BUCKLEY et al., 1974; CASEY et al., 1980; LATIMER; QUINN, 1966; YANKO; KRONFELD; FLEXER, 1994). Outros estudos têm relatado efeitos negativos brandos nos foraminíferos bentônicos, não afetando diretamente a diversidade e abundância das espécies (LOCKIN; MADDOCKS, 1982; MURRAY, 1985).

Estudos recentes mostram que os foraminíferos apresentam respostas rápidas a variações ambientais (COCCIONI, 2000; FRONTALINI; COCCIONI, 2011; BALSAMO et al., 2012; MARTINS et al., 2013, 2016, 2018; PAWLOWSKI, 2016; DAMAK et al., 2019; RODRIGUES et al., 2020;). Sendo assim, compreender como os

foraminíferos respondem a fatores ambientais adversos contribui diretamente para o aprimoramento do biomonitoramento ambiental em regiões sujeitas à poluição.

2.3 Brasil na Antártica e estudos de biomonitoramento realizados na Baía do Almirantado

O continente Antártico é o ambiente menos modificado no planeta Terra e o mais sensível às mudanças climáticas globais (BRITO, 2007). Os organismos que habitam os ambientes antárticos apresentam respostas rápidas às mínimas mudanças ambientais (BRITO, 2007). Por ser um laboratório natural, a Antártica recebe grande atenção da comunidade científica que obtém dados que permitam compreender os efeitos nas mudanças climáticas globais, padrões de circulação oceânica e ecologia dos organismos, entre vários outros temas.

Realizar pesquisas na Antártica não é algo trivial, pois exige logística complicada que muitas vezes só é possível se houver a presença de plataformas de pesquisa bem estruturadas, como navios, estações de pesquisa, refúgios e acampamentos. No caso específico das estações, estas por serem maiores, demandam manutenção e suprimentos para garantir o seu bom funcionamento. Isto só é possível graças à presença de pessoas que as ocupam temporariamente e ao apoio de navios, helicópteros e voos de reabastecimento (WEBER; MONTONE, 2006).

Estações de pesquisa e toda a logística envolvida em sua manutenção se não for organizada e gerenciada podem causar impactos ambientais e ser fonte de poluição para os frágeis ecossistemas antárticos (TIN et al., 2015). Isto ocorre principalmente durante o verão polar, quando o número de pesquisadores e pessoas envolvidas na logística das operações antárticas nas estações aumenta, assim como o lixo e o esgoto doméstico. Isto tem sido problema sério desde a década de 1950, quando começaram a aumentar as estações de pesquisas na Antártica (SZOPINSKA; NAMIEŚNIK; POLKOWSKA, 2016).

A partir do Ano Geofísico Internacional (AGI) em 1958 e durante a Guerra Fria, houve aumento significativo da construção de bases no território antártico, devido ao interesse geopolítico de diversos países. Por exemplo, no âmbito do AGI, foram estabelecidas 50 estações de pesquisa na Antártica, totalizando mais de 5.000 pessoas (FERREIRA, 2009). Para coordenar esse contingente, foi criado o Special Committee on Antarctic Research (SCAR, cujo nome foi alterado para Scientific Committee on

Antarctic Research), que coordena até hoje as diretrizes internacionais das pesquisas científicas antárticas (FERREIRA, 2009). Esse aumento do número de bases era um reflexo motivado inicialmente por questões territoriais e estratégicas.

Em uma tentativa de dissipar possíveis conflitos mundiais e diminuir a tensão entre os países com reivindicação territorial (*e.g.* Argentina, Austrália, Chile, França, Reino Unido, Noruega e Nova Zelândia), mais os EUA, a União Soviética, Bélgica, Japão e África do Sul - foi assinado o Tratado da Antártica, em 1959 (HARRIS; MEADOWS, 1992). Esse tratado é um documento assinado pelos países que reclamavam a posse de partes continentais da Antártica, em que se comprometem a suspender suas pretensões por período indefinido, permitindo a liberdade de exploração científica do continente, em regime de cooperação internacional (FERREIRA, 2009).

Contudo, a partir da década de 1970, devido à crise do petróleo, vários países começaram a sinalizar a importância de explorar os recursos minerais e reservas de hidrocarbonetos da Antártica (FERRADA, 2018). Devido um potencial dano ambiental irreparável e ao crescente aumento do impacto ambiental, vários diplomatas e a comunidade científica se organizaram e elaboraram o Protocolo ao Tratado da Antártica sobre Proteção do Meio Ambiente (WILSON, 1978). O referido protocolo, também chamado de Protocolo de Madri, foi assinado pelos países signatários do Tratado da Antártica em 1991 e entrou em vigor internacional em 1998 visando a proteção ao meio ambiente antártico.

O Brasil aderiu ao Tratado da Antártica em 1975. Em 1976, foram elaboradas diretrizes gerais da Política Nacional para Assuntos Antárticos (POLANTAR) e o Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). Contudo, somente na década de 1980 é que começaram as operações antárticas (1982) e a construção da estação antártica Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF, verão 1983/1984). Em 1983, o Brasil conseguiu obter o status de Parte Consultiva do Tratado da Antártica (BRITO, 2007).

No tocante ao Protocolo de Madri, o Brasil implementou unilateralmente o referido protocolo antes mesmo de sua entrada em vigor internacional em 1998 (VIEIRA, 2006). Todas as atividades do PROANTAR são regidas pelos princípios e normas do protocolo. O Brasil incorporou o Protocolo de Madri ao seu ordenamento jurídico em 1998, após aprovação pelo Congresso em 1995.

O Brasil como sendo uma das nações signatárias do Sistema do Tratado da Antártica, assumiu o compromisso de pesquisar e preservar o ambiente Antártico, bem como avaliar o impacto ambiental gerado por atividades humanas na Baía do

Almirantado, até hoje considerada uma Área Especialmente Gerenciada (AAEG) (MARINHA DO BRASIL, 2018). Para cumprir com as diretrizes estabelecidas no Protocolo e ao Tratado da Antártica sobre Proteção do Meio Ambiente, foi realizado um projeto integrado com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/MCT), bem como foi criado um Grupo de Avaliação Ambiental do Programa Antártico Brasileiro (GAAm/Proantar), encarregado de avaliar o impacto das atividades brasileiras no ambiente antártico (BRITO, 2007). Em 2002 foi estabelecido o projeto integrado Rede-2 com o objetivo de avaliar os possíveis impactos na BA e estabelecer bases científicas para promover uma gestão ambiental apropriada para a área. O projeto fez um amplo levantamento de parâmetros ambientais existentes na região e de caracterização do ambiente marinho utilizando diversas ferramentas químicas, físicas e biológicas. Os resultados do projeto são utilizados como base para comparação de dados atuais coletados na BA.

2.3.1 Estação Antártica Comandante Ferraz

A Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), está localizada na Península Keller da Baía do Almirantado (BA), Ilha Rei George que faz parte do arquipélago das Shetlands do Sul. Foi inaugurada em 6 de fevereiro de 1984 e, desde então, marca a presença e atividades científicas brasileiras no continente. Nessa região encontra-se instalada também a estação de pesquisa polonesa Henry Arctowsky que conjuntamente com a EACF, operam durante todo ano. Há também a Estação de Pesquisas Machu Picchu do Peru que funciona somente durante o verão. Outras instalações encontram-se próximas a EACF: um refúgio pertencente ao Equador (de uso eventual) e a Base Copacabana ou Base Capitão Pieter J. Leni dos Estados Unidos (WEBER; MONTONE, 2006).

A instalação da EACF na Península Keller foi escolhida devido à facilidade de acesso, embarque e abastecimento de água (FERREIRA, 2009). Desde a sua construção, sempre houve preocupação em relação à sua interferência no meio ambiente que os procedimentos de manutenção e expansão poderiam causar. Por esse motivo, a implantação da EACF foi planejada de forma a minimizar as modificações na paisagem e na recuperação total do ambiente, caso a estação viesse a ser removida. Para isso, foram criados grupos de pesquisa com o objetivo de pensar em soluções tecnológicas para a estação e também para avaliar o impacto ambiental decorrente das atividades humanas, seguindo o Protocolo de Madri e legislações específicas (BRITO, 2007).

Inicialmente a EACF tinha apenas oito containeres e com o tempo foram sendo agregados novos módulos. Até 2012, a antiga EACF possuía cerca de 2.250 m² de área construída, com oito compartimentos de containers metálicos, com capacidade de abrigar 56 pessoas e vários anexos, como por exemplo um heliponto (Figura 1) (MARINHA DO BRASIL, 2018). Em 2005/2006, a EACF passou por uma ampla reforma que permitiu a expansão do armazém de gêneros e a modernização dos laboratórios, bem como a construção de um anexo na fachada principal, de uma garagem e de uma área para coleta seletiva de lixo e para a instalação de um novo incinerador. Novos tanques de óleo combustível, fabricados pelo Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro e financiados pela PETROBRAS, e um novo sistema de telecomunicações da operadora de telefonia Oi foram também instalados no verão de 2005-2006 (MARINHA DO BRASIL, 2018) (Figura 1).

Figura 1 - EACF depois da reforma de 2005/2006.

Fonte: Marinha do Brasil, 2018.

A antiga EACF sempre foi referência mundial de boas práticas de gerenciamento ambiental, elogiada por inspetores de outras nações e por observadores de ONGS ambientalistas (FERREIRA, 2009). O Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) ainda é referência mundial quando se trata de pesquisa científica e de proteção ambiental.

Porém em 25 de fevereiro de 2012, ocorreu um incêndio nas mediações da EACF, destruindo 70% das instalações (Figura 2). Somente os refúgios, alguns laboratórios de pesquisa, dois módulos de captação de água doce, a estação de rádios de emergências e o heliponto ficaram intactos, uma vez que eram áreas mais isoladas das demais instalações (MARINHA DO BRASIL, 2020).

Figura 2 - Incêndio ocorrido no dia 25 de fevereiro de 2012.

Fonte: Antártica brasileira, 2012.

Logo em seguida, no verão seguinte ao incêndio, durante a OPERANTAR XXXI de 2012-2013, foi iniciado o processo de reconstrução da EACF e grande parte dos resíduos do incêndio foi retirado pela Marinha sob a supervisão do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Módulos antárticos emergenciais (MAE) foram instalados para dar continuidade a pesquisa científica brasileira (ANDRADE et al., 2018). A operação foi considerada pela Marinha uma das operações logísticas mais complexas já realizadas no continente, porém ocorreu de forma rápida com a colaboração de pesquisadores, da FAB, órgãos nacionais de proteção ao meio ambiente e diplomacia brasileira em colaboração com outros países com os quais o Brasil tem sólida cooperação na Antártica, fazendo com que todos os procedimentos e princípios ambientais fossem garantidos durante o procedimento de limpeza da antiga EACF (ANDRADE et al., 2018).

Ainda em janeiro 2013, metade dos escombros já tinham sido retirados e enviados para o Brasil seguindo todas as normas de recuperação do local. No mesmo ano, o Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB) e a Marinha do Brasil anunciaram o resultado do concurso da nova EACF e o projeto arquitetônico vencedor foi o elaborado, pelo escritório curitibano Estúdio 41, em parceria com a empresa de engenharia portuguesa AFAconsult. O projeto foi realizado visando atender às necessidades logísticas e de pesquisa a serem realizadas na região (ANDRADE et al., 2018). A construção da nova

EACF ficou a cargo da construtora chinesa *China Eletronics Import and Export Corporation* (CEIEC) e foi escolhida por meio de licitação.

No dia 15 de janeiro de 2020 foi inaugurada a nova EACF, com 4.500 m² de área construída, 17 laboratórios de pesquisa, acomodações para 65 pessoas durante o verão e 35 no inverno entre pesquisadores e militares além de ambulatório e biblioteca (Figura 3). Pautado na sustentabilidade, o projeto da estação contempla características que permitem menores consumos de combustível fóssil e de água, devido a: 1) um sistema de esgotamento sanitário preparado para separar as águas cinza da negra de forma que a primeira possa ser reutilizada após o tratamento; 2) um layout que permite reduzir ao mínimo consumo de energia em determinados períodos do ano; 3) recuperação da energia térmica liberada pelos diesel-geradores; 4) utilização de fontes de energias renováveis (eólica e solar) e de sistema para a gestão técnica do prédio (MARINHA DO BRASIL, 2020).

Figura 3 - Nova EACF inaugurada em 15 de janeiro de 2020.

Fonte: Marinha do Brasil, 2020.

2.3.2 Brasil e monitoramento da Baía do Almirantado

Desde 1983, o Brasil concentrou boa parte de suas pesquisas na Baía do Almirantado, permitindo reunir uma série de dados robustos sobre esta região (WEBER; MONTONE, 2006). Segundo Ferreira (2009), o principal marco da incorporação das normas do Protocolo de Madri à política brasileira para a Antártica foi a proposta de designação da Baía do Almirantado como Área Especialmente Gerenciada (ASMA) em 1996, elaborada em conjunto com a Polônia. E desde então Brasil e Polônia tem sido responsáveis por gerenciar a Baía do Almirantado.

Devido à ampliação das atividades de pesquisa nas estações e abrigos, bem como aumento do turismo na região, estudos de monitoramento passaram a ser realizados em toda área da BA, incluindo, principalmente a Enseada Martel, Mackellar e Ezcura. Como citado anteriormente, as estações de pesquisa são fontes pontuais de contaminação ao meio marinho adjacente, principalmente devido à disposição de esgoto doméstico e ao uso de derivados do petróleo utilizados como combustíveis (MARTINS et al., 2004). Por este motivo, esgoto e lixo gerados na Antártica devem ser rigorosamente tratados em estações de tratamento de esgoto e incinerados com filtros situados nas estações de pesquisa. O lixo que não pode ser tratado *in loco* deve ser levado de volta para os seus

respectivos países. Paralelamente a esses cuidados, monitoramentos ambientais devem ser realizados periodicamente nos locais onde há estações/abrigos de pesquisa.

A introdução de poluentes também pode ocorrer de forma acidental, como por exemplo, o incêndio nas instalações da EACF que gerou vários resíduos no local. Após o incêndio, iniciou-se o processo de reconstrução da estação bem como de um convênio chamado “Monitoramento ambiental da área de influência direta da Estação Antártica Comandante Ferraz” (MonitorAntar) firmado entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e a Universidade de São Paulo (USP), coordenado pela Profa. Dra. Rosalinda Carmela Montone (Instituto Oceanográfico – IO/USP). Os objetivos do referido convênio são avaliar o impacto ambiental residual do incêndio e acompanhar a médio e longo prazo as variações no ecossistema da região da BA, bem como o fornecimento de ferramentas (físicas, químicas e biológicas) e ações que possam remediar possíveis consequências ao meio ambiente.

Nesse contexto, diferentes indicadores vêm sendo incorporados aos estudos de avaliação de impacto ambiental na BA, pois estes podem auxiliar na avaliação do grau de contaminação e a capacidade de recuperação do meio ambiente. Os foraminíferos entram como uma promissora ferramenta biológica que em conjunto com análises físico-químicas da água e do sedimento podem ser utilizados no monitoramento da poluição, uma vez que a presença de poluentes pode afetar diretamente a composição química de suas carapaças e a estrutura de suas associações faunísticas.

2.4 Área de Estudo

2.4.1 Ilha Rei George

A área de estudo está localizada na região central da Ilha Rei George (61° 50' e 62° 15' Sul e 57° 30' e 59° 00' oeste), e compõe o maior conjunto de ilhas a noroeste da Península Antártica (Arquipélago Shetland do Sul), fazendo fronteira com a passagem de Drake ao norte e, cobrindo uma área de extensão de 1.150 km² (RAKUSA-SUSZCZEWSK, 2002) (Figura 4).

Figura 4 - Referencial geográfico da Península Antártica, Ilhas Shetland do Sul, Ilha Rei George e Baía do Almirantado com pontos de coleta representados pelos marcadores vermelhos.

Fonte: autor.

2.4.2 Baía do Almirantado

A BA tem uma área de cerca de 122,08 km² e possui o maior fiorde encontrado no arquipélago. Apresenta configuração de vale em forma de “U”, típico de fiordes da região e é aberto para o sul, em direção ao Estreito de Bransfield. Sua zona litoral pode ter até 100 m de profundidade (ROBAKIEWICZ; RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980). A porção norte da baía é constituída por duas entradas Martel e Mackellar e a região oeste pela Enseada Ezcurra. Influenciada pelos mares de Weddell e Bellingshausen, as águas da BA ocupam 138 km² em torno da ilha, apresentando profundidade que varia desde regiões rasas até regiões profundas que podem atingir 500 m (BRAUN; GOSSMANN, 2002).

2.4.3 Contexto Geológico/Geomorfológico

A BA é composta por rochas piroclásticas de efusão (vulcânicas), basáltica e andesítica, com intrusões sedimentares, e correspondem a dois períodos tectônicos ocorridos no Cretáceo e Mioceno. A área da baía é composta por praias e seções de costa,

a região ao nordeste da baía é a mais coberta por gelo, enquanto as regiões centrais e oeste apresentam menor cobertura de gelo. As regiões de costa são descobertas pelo gelo (BIRKENMAJER; ZASTAWNIAK, 1980).

2.4.4 Características oceanográficas

A BA possui uma bacia de água do mar com volume de 24.1 Km³, em formato de vale, e sua profundidade aumenta em direção ao sul do canal. A profundidade da bacia varia entre 98 e 198 m (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1996).

A hidrografia da baía é fragmentada, caracterizada por uma coluna bem misturada e uniforme. As marés e os ventos fortes predominantes da direção oeste-sudoeste (WSW) e oeste-noroeste (NWN) influenciam a circulação dentro da baía e fazem as trocas de águas do Estreito de Bransfield, ocorrendo variações de maré semi-diurnas com amplitude máxima de 2,5m (PRUSZAK, 1980). Os ventos influenciam o movimento das ondas, empurrando as águas superficiais para o mar e intensificam o influxo de água do mar aberto ao longo da costa sudoeste através de um canal de 500 m de extensão (RAKUZA-SWAZCZEWSKI, 1980; ROBAKIEWICZ; RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1999).

Os valores de temperatura e salinidade da água são, geralmente, uniformes, devido a mistura intensa da água, influenciada pela forte ação dos ventos (SZAFRĄŃSKI; LIPSKI, 1982). As geleiras influenciam nas condições hidrológicas da baía e vêm se retraindo nas últimas décadas. Durante o verão austral, a camada superior é caracterizada por uma mistura de águas marinhas e gelo derretido com variações de salinidade e temperatura, oxigênio elevado e baixo teor de nutrientes, influenciando no desenvolvimento dos organismos marinhos (RODRIGUES; BRAGA; EICHLER, 2015).

2.4.5 Clima

O clima da ilha é descrito como oceânico, muito influenciados pela sua localização e centros de baixa pressão atmosférica que gera ciclones ao redor de todo o continente (SHAEFER et al., 2004). Esse fenômeno caracteriza o clima com invernos longos, porém amenos com alta frequência de neve e chuvas. E verões frescos e curtos, alcançando temperatura médias entre 0 ° e 10 °. A temperatura média anual é de -1,8 °C e precipitação anual de 366 mm, mais concentradas nos períodos de março e abril. Os

ventos influenciam a geomorfologia das regiões livres de gelo e se torna importante agente do intemperismo na ilha, atingindo velocidades maiores durante o inverno, com média anual de 5,9 m/s (SHAEFER et al., 2004). A baía congela em dois a cada três anos por até três meses. Suas entradas mais protegidas são congeladas por períodos mais longos que o canal principal. (MAJEWSKI, 2005).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade ambiental de áreas marinhas situadas na Baía do Almirantado, em particular as situadas ao largo da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), a partir de análise de poluentes (HPAs), elementos metálicos e metalóides, e associações de foraminíferos de bentônicos de sedimentos superficiais.

3.2 Objetivos Específicos

- Analisar composição faunística de foraminíferos bentônicos vivos e mortos, bem como sua variação espacial e temporal em relação aos parâmetros hidrográficos, sedimentológicos e geoquímicos obtidos nos anos de 2016 e 2018;
- Analisar as características texturais e composicionais dos sedimentos, discriminando as concentrações de macronutrientes (C e N), de elementos metálicos e metalóides e poluentes, especificamente de HPAs nos sedimentos;
- Relacionar os dados de composição química dos sedimentos avaliando os efeitos desses sobre as associações de foraminíferos bentônicos da região.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Procedência das amostras

O presente trabalho faz parte do projeto de biomonitoramento intitulado “MonitorAntar (Monitoramento ambiental da área de influência direta da Estação Antártica Comandante Ferraz). As amostras de sedimento utilizadas neste estudo foram coletadas, durante os verões austrais de 2016 (novembro) e 2018 (fevereiro).

O delineamento amostral na Baía do Almirantado foi realizado a fim de avaliar variações naturais em escala espacial e envolveu a coleta de sedimento marinho em 12 áreas, nas proximidades da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e outras consideradas como áreas de referência: Ponta Ulmann, Botany (Enseada Martel), Refúgio 2 (Refúgio brasileiro Cruels) e Mackellar (Enseada Mackellar), Hennequin, Ilha Dufayel (Enseada Ezcurra) (Figura 4).

Especificamente nas imediações da EACF foram escolhidos pontos amostrais situados em frente ao antigo Heliponto, onde posteriormente foram construídos os módulos emergenciais, e ao local onde ficavam os tanques de combustíveis (que foram destruídos no incêndio) (Figura 5).

Figura 5 - Pontos amostrais Tanques e Heliponto.

Fonte: Clayton de Souza, 2019.

Em relação à batimetria, para o acompanhamento da biota, as amostras de sedimento foram coletadas entre 20 m e 60 m de profundidade (Tabela 1). Essa é a faixa que apresenta uma relativa diversidade da fauna bentônica na Baía do Almirantado e é numa área de menor influência de distúrbios ambientais naturais como impacto por gelo, facilitando, portanto, a análise de possíveis efeitos antrópicos. Em determinados pontos amostrais, como em Hennequin, houve mudança significativa na composição granulométrica de 2016 para 2018, passando ocorrer muito cascalho em 2018 (Tabela 1). No referido ponto, foram realizados quatro lançamentos não bem-sucedidos e um que conseguiu resgatar pouquíssimo material. Devido a isto, optou-se por fazer um outro ponto de coleta mais próximos ao ponto original de 2016 e com substrato mais arenolamosos, ao invés de descartar o ponto H1 de 2018.

Tabela 1- Descrição das amostras coletadas em campo, batimetria e referencial geográfico.

Amostra	Prof.(m)	Latitude (S)	Longitude (W)
Ilha Dufayel (ID)	30	62°10'03,9"	58°32'49,8"
Botany (B)	25,9	62°06'01,6"	58°20'01,6"
EACF30 Heliponto (H30)	32,4	62°05'08,3"	58°23'17,6"
EACF30 Tanques (T30)	30,0	62°05'06,4"	58°23'11,6"
EACF60 Heliponto (H60)	63,0	62°05'10"	58°22'46,3"
EACF 60 Tanques (T60)	60,8	62°05'07,6"	58°22'36,7"
Hennequin 1 (H)	20,9	62°06'57"	58°23'34,5"
Hennequin 2 (H2)	30	62°06'59,2"	58°23'39,1"
Mackellar 1 (MK1)	44	62°04'12"	58°26'27"
Mackellar 2 (MK2)	25,7	62°04'24"	58°26'40"
Mackellar 3 (MK3)	64,5	62°04'55"	58°25'45"
Ponta Ulmann (PU)	22,6	62°04'55,5"	58°20'18,0"
Refúgio 2 (RII)	21,8	62°04'24,7"	58°25'22,2"

4.2 Coleta de sedimentos em campo

As coletas foram realizadas a bordo de botes fornecidos pela Marinha do Brasil, durante as operações antárticas OPERANTAR XXXV e XXXVI, ocorridas em novembro de 2016 e janeiro de 2018, respectivamente. Foram coletadas um total de 21 amostras de sedimento separadas por áreas: nove amostras (2016) e 12 amostras (2018).

Os sedimentos foram coletados com pegador do tipo van Veen em aço inox, modificado (dimensões: 22 x 16 x 22 cm e 3 L de capacidade volumétrica). Quando trazido a bordo, o pegador foi aberto sobre bandejas de aço inox, retirando-se primeiramente as amostras destinadas aos foraminíferos, sempre raspando a camada superficial oxidada (0 cm, eventualmente 0,5 cm). Em seguida foi acrescentado álcool etílico 70 GL e corante de Rosa de Bengala em solução (WALTON, 1952) nos frascos com sedimentos, para evitar ataques bacteriano e detectar os foraminíferos vivos no momento da coleta, respectivamente.

Posteriormente, foram coletadas amostras para análises granulométricas, elementos metálicos-metaloides e hidrocarbonetos. Para as duas primeiras análises, os sedimentos foram acondicionados em frascos plásticos e congelados em freezer. Para análise de HPAs, foram utilizados vidros Schott âmbar, com tampa de rosca, que foram acondicionados em geladeira até retorno para o laboratório.

4.3 Preparação de amostras para análises granulométricas e geoquímicas (LACITE) EACH-USP e Laboratório de preparação de amostras – IGc-USP

Assim que as amostras congeladas chegaram ao laboratório, os sedimentos para análises granulométricas e geoquímicas foram liofilizados no Liofilizador Christ® modelo BETA 1- 8 LD PLUS do Laboratório de Ciências da Terra (LACITE).

Posteriormente, amostras liofilizadas para análises geoquímicas foram pulverizadas por 15 minutos em moinho de ágata do IGcUSP. Então, os sedimentos pulverizados foram divididos em alíquotas destinadas para análises de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), elementos metálicos, metaloides e hidrocarbonetos.

4.4 Análise granulométrica - Laboratório de Sedimentologia (LabSed) IGc-USP

As análises granulométricas foram realizadas por meio de difratômetro a laser (MALVERN 2000®) (Figura 6), que produz curva contínua de distribuição granulométrica em volume, baseada em difração de raios lasers em amostra dispersa em água (dispersor Hydro para amostras lamosas). Cerca de 2g de sedimento desagregado foram submetidas a um feixe a laser no qual as partículas do sedimento geram uma interferência no feixe. Essas interferências são constituídas por faixas claras e escuras, no qual os tamanhos das partículas são calculados conforme a distâncias entre elas. Os sinais gerados são captados por detectores e enviados para um programa que calcula a faixa granulométrica dos grãos (expressos em porcentagem) como também diâmetro do grão e respectivos desvios padrão (ϕ), assimetria e curtose. Os sedimentos foram classificados conforme Shepard (1954) e o grau de seleção dos sedimentos de acordo com Folk e Ward (1957).

Figure 6 - Difratômetro a laser MALVERN 2000 ® do IGc- USP.

Fonte: autor

4.5 Análise de Carbonato de Cálcio e de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio (N) – Laboratório de Química Orgânica Marinha (LabQOM) IO-USP

Para este procedimento, todas as amostras foram submetidas a queima de carbonato de cálcio (CaCO_3), sendo utilizados tubos Falcon vazios de 20 mL, previamente pesados em balança analítica (Figura 7). Posteriormente, foi pesado cerca de 1g de cada amostra seca de sedimento e anotado o peso exato para cálculo da porcentagem de carbonato de cálcio (CaCO_3).

Figura 7 - Procedimento analítico para cálculo CaCO_3 Total (COT).

Fonte: autor.

Em seguida, foram adicionados 2 mL de HCl 1M e efetuada a homogeneização através de vortex da *Whirli Mixer* da *Fisherbrand*. Depois, as amostras foram mantidas em repouso por dois dias para permitir a acidificação de todo o sedimento.

Após descanso, foi adicionada em cada amostra 1 gota de HCl concentrado com uma pipeta pasteur. Neste processo as amostras foram inspecionadas de modo a não haver mais reação química e fragmentos de carbonato de cálcio. Em seguida, foram adicionados 8 mL de água Milli-Q e colocados na centrífuga por 10 minutos a 2000 rpm para homogeneização. O líquido sobrenadante foi descartado e as amostras lavadas com água Milli-q por cerca de 20 vezes até que todo o ácido fosse retirado do sedimento, verificando a acidez com auxílio de papel universal de pH (Figura 8).

Figura 8 - Ataque ácido para eliminação de CaCO_3 e fitas de pH utilizadas no processo de averiguação da acidez das amostras.

Fonte: autor.

Após a lavagem, os tubos com amostra foram secos em estufa a 60°C por três dias. Posteriormente, os tubos foram pesados e feito o cálculo da porcentagem de CaCO_3 . Foram adicionados cerca de 6 a 8 mg de sedimento descarbonato e não-decarbonato, em cápsulas de estanho, para análise no equipamento *Costecs Instruments Elemental Combusten System* acoplado ao detector de espectrometria de massa com razão isotópica *Thermo Scientific delta V Advantage Isotope Ratio* (EA-IRMS).

Para análise de Nitrogênio Total (%), foram pesadas entre 6 a 8mg de amostra seca e não descarbonatadas, e em seguida acondicionadas em cápsulas de estanho próprias para injeção no EA-IRMS (Figura 9).

Figura 9 - Encapsulamento das amostras pré-análise de Nitrogênio total (NOT).

Fonte: autor.

Para garantir o controle da qualidade na leitura das amostras, a cada 40 delas foram corridas algumas amostras padrões envolvendo:

- 2 Brancos (cápsulas sem nenhum material dentro);
- 2 padrões de quantificação: sedimento LECO (contendo entre 1,0 a 1,5 mg na cápsula);
- 2 padrões de referência secundários: IAEA 600 (contendo na cápsula entre 0,6 a 0,8 mg) e USGS 40 (contendo na cápsula entre 0,6 a 0,8 mg)
- 3 padrões internos: Sedimentos Ubatuba Boqueirão sem carbonato contendo entre 6 a 8 mg nas cápsulas (para as análises de Carbono) e
- 3 padrões internos: Sedimentos Ubatuba Boqueirão com carbonato (para as análises de Nitrogênio contendo entre 6 a 8 nas cápsulas).

O padrão de referência secundário IAEA 600 é certificado pela Agência Nacional de Energia Atômica e o USGS 40 é certificado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos. O padrão de referência de quantificação utilizado foi o Sedimento Leco 502-309 da LECO Corporation e o padrão interno Sedimento de Ubatuba Boqueirão foi testado e apresenta padrões aferidos por análises no IA-RMS realizadas pelo próprio laboratório.

4.6 Análise de metais e metaloides por espectrometria de emissão ótica com plasma individualmente acoplado (ICP-OES) - Laboratório de Química Inorgânica Marinha – LAQIMar (IO-USP)

Para o estudo de metais biodisponíveis no ambiente foi inicialmente feita a digestão parcial de 1g de cada amostra por ataque ácido nítrico (HNO_3) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), seguindo o método USEPA 3050b (United States Environmental Protection Agency).

Após esse processo, a solução obtida foi submetida a análise pela técnica de Espectroscopia de Emissão Óptica de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) no equipamento Varian, modelo 710ES, seguindo o método USEPA 6010c (USEPA, 2007) no qual é possível analisar vários comprimentos de onda simultaneamente. Para determinação dos teores de Mercúrio (Hg) foi utilizada uma adaptação da metodologia 7471b (USEPA, 2007), a solução obtida foi analisada por ICP-OES associado ao VGA (Vapor Generated Accessory).

Para garantir a confiabilidade na análise, o método foi validado segundo os parâmetros de qualidade e limite de detecção. Um material de referência certificado CRM (*Certified Reference Material*) de sedimento contaminado SS-2 (EnviroMAT) com concentrações elementares conhecidas e branco dos reagentes foram submetidos a análise

seguindo o método 3050b (USEPA, 1996). Os teores quantificados de Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Crômio (Cr), Escândio (Sc), Ferro (Fe), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Selênio (Se) e Zinco (Zn) e seus respectivos limites de detecção estão dispostos na tabela 2.

Tabela 2 - limite de detecção do método LDM e limite de quantificação LQM em $\mu\text{g. g}^{-1}$.

Elemento	LDM ($\mu\text{g. g}^{-1}$)	LQM ($\mu\text{g. g}^{-1}$)
Alumínio (Al)	0,28	1,4
Arsênio (As)	0,04	0,19
Cádmio (Cd)	0,00	0,00
Chumbo (Pb)	0,01	0,29
Cobre (Cu)	0,01	89
Crômio (Cr)	0,02	0,45
Escândio (Sc)	0,07	0,02
Ferro (Fe)	0,06	0,33
Níquel (Ni)	0,06	0,33
Zinco (Zn)	0,01	1,44
Mercúrio (Hg)	0,09	0,00

4.6.1 Análise de contaminação

Foi adotada a base de dados da Lista Canadense de Qualidade Ambiental para análise dos elementos metálicos e metaloides que utiliza os seguintes limites: *Threshold Effect Level* (TEL – nível limiar de efeitos) e *Probable Effect Level* (PEL – nível provável de efeitos). Os valores de um elemento ou composto químico abaixo de TEL mostram que dificilmente acontecerá efeitos adversos para a biota marinha. Já valores acima do PEL indicam que possivelmente ocorrerá um dano à biota. Entre TEL e PEL existe a possibilidade de ocorrer danos à biota.

Todos os dados obtidos foram comparados com os valores guia de causa e efeito definidos pelo CONAMA 454/12 e pela Legislação Norte Americana, no qual o Nível 1 (CONAMA) ou ERL (*Effects Range Low*) indica que os sedimentos são provavelmente tóxicos para biota e o Nível 2 (CONAMA) ou ERM (*Effects Range Medium*) que indica o limite de concentração abaixo do qual os sedimentos raramente são tóxicos. Quando

algum elemento metálico ultrapassa a faixa maior que o ERL e menor que o ERM indica que os sedimentos possivelmente são tóxicos.

A avaliação de elementos metálicos e metalóides permitem determinar o grau de contaminação do sedimento, do corpo d'água e dos organismos bentônicos. Porém, ambientes costeiros são complexos e os metais encontrados nos sedimentos podem apresentar diversas origens podendo eles ser de origem natural (por erosão das rochas, aporte fluvial, atividade biológica entre outros fatores) ou de origem antropogênica (OLIVEIRA; MARINS, 2011).

Para estabelecer a contribuição antropogênica ou biogênica *versus* origem crustal foi calculado o fator de enriquecimento (FE) para todos os metais analisados. O fator de enriquecimento é uma ferramenta geoquímica amplamente utilizada e compara a razão da concentração do elemento na amostra com um elemento de referência normalizador e a razão correspondente de um local de referência, não enriquecido chamado *background* (tabela 3) (LIU et al., 2003; ABRHAIM; PARKER, 2008; SUTHERLAND, 2000). Esse elemento de referência deve ser imóvel no ambiente e ser de origem litogênica (LOSKA et al., 1997; SZEFER, 1988; MOZETO; UMBUZEIRO; JARDIM, 2006). A razão é dada por:

$$FE = \frac{[x^a]}{[x^b]} \cdot \frac{[y_{ref}^b]}{[y_{ref}^a]},$$

(Equação 1)

onde $[x^a]$ é a concentração do elemento de interesse na amostra, $[y_{ref}^a]$ é a concentração do elemento de referência na amostra, $[x^b]$ é a concentração do elemento de interesse no *background*, $[y_{ref}^b]$ é a concentração do elemento de referência no *background*. Observa-se que o fator de enriquecimento é adimensional.

Foi utilizado como elemento normalizador o Escândio (Sc), considerando que foi mensurado na análise e sua baixa mobilidade no meio ambiente. Para esse estudo, foi utilizado o ponto Hennequin como *background*, uma vez que entre as amostras coletas, esse é o ponto mais afastado da EACF e, apresentou as menores concentrações de vários elementos nas duas campanhas. Como critério de avaliação, foi utilizada a classificação de contaminação baseada em valores de FE segundo Sutherland (2000):

Tabela 3 - Graus de Enriquecimento segundo Sutherland (2000).

FE	Graus de enriquecimento
<2	Nenhum ou pouco enriquecimento
2-5	Enriquecimento moderado
5-20	Enriquecimento significativo
20-40	Muito enriquecido
>40	Extremamente enriquecido

Fonte: Sutherland (2000)

Também foi calculado o Índice de Geocumulação, que auxilia na avaliação quantitativa da poluição por metais-metaloides em sedimentos. Essa ferramenta foi implementada por Müller (1979) no qual é realizada uma estimativa do grau de poluição por meio do enriquecimento de um elemento por uma concentração de referência, obtido por folhelhos decorrente da composição das rochas da Terra. Porém, para o cálculo I_{geo} do presente estudo utilizou-se como *background* a concentração de metais no ponto Hennequin. A equação referente ao cálculo é:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{[x^a]}{1,5 \cdot [x^b]} \right) ,$$

(Equação 2)

onde $[x^a]$ é a concentração do elemento de interesse na amostra, $[x^b]$ é a concentração do elemento de interesse no *background* e 1,5 é o fator de suavização das flutuações do *background* pelas variações litogênicas. O I_{geo} pode ser classificado em valores crescentes:

Tabela 4 - Classificação da qualidade dos sedimentos segundo Müller (1979)

Classe	Valor do I_{geo}	Qualidade dos sedimentos
0	≤ 0	Não Poluído
1	0 - 1	Não poluído a moderadamente poluído
2	> 1 - 2	Moderadamente poluído
3	> 2 - 3	Moderadamente poluído a poluído
4	> 3 - 4	Muito poluído
5	4 - 5	Muito poluído a altamente poluído
6	≥ 5	Altamente poluído

Fonte: Müller (1979)

4.7 Análise de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) - Laboratório de Química Orgânica Marinha do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (LabQOM) IO-USP

O procedimento para análise de HPAs foi realizado, otimizado e testado no LabQOM (IO-USP). Toda a vidraria utilizada no processo foi lavada com detergente Extran® alcalino da MERCK®. Logo após foram enxaguadas com água corrente, secas em estufa e mufladas a 450°C. Antes de iniciar as análises, as vidrarias volumétricas foram lavadas com solventes n-hexano (95% de pureza) e diclorometano (DCM 99% de pureza) ambos da marca Panreac®.

Para quantificação de HPAs nas amostras de sedimentos foram utilizadas sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃) com partículas de 0,063 a 0,2 mm da MERCK® e sulfato de sódio da Synth®. Todos os reagentes sólidos foram calcinados em mufla a 450°C no período de 4 horas, a sílica e alumina foram resfriadas e parcialmente desativadas com água Milli-Q extraídas cinco vezes com n-hexano.

Foram separadas alíquotas de 15g de cada amostra de sedimento para a análise de HPAs totais, as amostras foram fortificadas com 500 µL⁻¹ do padrão de recuperação de 5 ng.µL⁻¹ de compostos de deuteranos. Após esse processo foi adicionado n-hexano e diclorometano, cobre ativado para remoção do enxofre inorgânico e esferas de ebulição para evitar bolhas excessivas no solvente. As amostras ficaram em processo de extração durante oito horas. O extrato resultante foi acondicionado a 1mL em evaporador rotativo a vácuo com pressão entre 30 e 40 kPa e temperatura entre 40 e 45°C depois, foram purificados e fracionados em cromatografia de adsorção em coluna de sílica e alumina. O extrato foi colocado no topo de uma coluna cromatográfica de vidro contendo 1,8 g de alumina sobre 3,2 g de sílica, os HPAs foram eluídos com 15 mL de n-hexano: diclorometano.

Para análise cromatográfica em fase gasosa, a fração de HPAs foram novamente concentradas em evaporador rotativo a vácuo e depois transferidas em ampolas de vidro âmbar onde foram adicionadas 100 µL de padrões internos de p-terfenil (50 µL) obtendo-se 1 mL de volume final.

A quantificação dos HPAs totais foi realizada por meio de padronização interna e baseada em uma curva analítica contando seis concentrações diferentes de padrão externo de referência. Para controle na qualidade do processo analítico foram analisadas amostras em branco para verificar possíveis contaminações. Neste estudo todos os brancos estiveram dentro do padrão.

4.8 Análise de foraminíferos bentônicos no Laboratório de Ciências da Terra – (LACITE) EACH - USP

De cada amostra preservada em álcool 70° e corada em solução de rosa de Bengala, foi retirada uma alíquota de 10 cm³, que foi peneirada a úmido em malhas de 0,500 µm e 0,063 µm para eliminar as frações silte e argila e facilitar a triagem dos organismos (SCHRÖDER; SCOTT; MEDIOLI, 1987).

As frações retidas nas peneiras foram secas em estufa (60°C) e submetidas à análise densimétrica por flotação-afundamento em tricloroetileno (C₂HCl₃) (SCOTT et al., 2001), visando separar as carapaças dos foraminíferos das partículas sedimentares com densidade maior que 1,46 g.cm⁻³ (e.g., grãos de quartzo e outros minerais) do material biológico (diatomáceas, foraminíferos, espículas de esponja, moluscos entre outros organismos) (Figura 10). O material sobrenadante foi posteriormente separado do C₂HCl₃ por filtração.

Figura 10 - Metodologia para análise de foraminíferos bentônicos realizada no LACITE- EACH/USP. Imagem 1) Potes de armazenamento e alíquota retirada (10 cm³), 2) Lavagem das amostras nas peneiras de 0,500 µm e 0,063 µm, 3) Filtragem das amostras, 4) Análise por densimétrica por flotação-afundamento em tricloroetileno (C₂HCl₃).

Fonte: autor.

Depois de seco, o material filtrado foi triado sob estereomicroscópio *Zeiss Stemi SV6*, com aumentos variando de 40 a 80x, retirando-se as carapaças de foraminíferos, com auxílio de pincel (Figura 11). As carapaças triadas foram acondicionadas em lâminas de fundo preto, previamente preparadas com aplicação de uma fina camada de goma adragante para fixação das carapaças.

O resíduo (grãos de quartzo e outras partículas sedimentares) que ficou depositado nos béqueres foi também triado, com intuito de averiguar a eficácia da análise densimétrica. A análise mostrou mais de 90% de recuperação das carapaças, validando a técnica utilizada.

Figura 11 - Metodologia para análise de foraminíferos em laboratório 1) estereomicroscópio Zeiss Stemi SV6, com aumentos 40 a 80x. 2) Material depois de seco na estufa a 60°, com predominância de diatomáceas. 3) lâminas de fundo preto com as carapaças fixadas com goma adragante.

Fonte: autor.

Foram considerados organismos vivos somente aqueles que foram corados fortemente com Rosa de Bengala para compor os estudos de biocenoses (Figura 12). Os organismos mortos correspondem às carapaças não coradas (Figura 8) e fazem parte dos estudos de tanatocenoses. Inicialmente foram triadas aleatoriamente 300 carapaças de foraminíferos (200 mortos e 100 vivos) em uma alíquota de 10 cm³ (MURRAY, 1985; FATELA; TABORDA, 2002).

Figure 12 - Espécie *Fursenkoina riggii* corada com rosa de bengala e não corada (50 μm).

Fonte: autor.

Quando não foi possível obter as 300 testas de uma alíquota de 10 cm^3 , uma nova alíquota de 10 cm^3 foi processada e triada sucessivamente até que se atingisse a contagem mínima estabelecida (no mínimo 200 mortos e 100 vivos). Algumas amostras foram necessárias a lavagem de 100 cm^3 de sedimento para que a contagem de indivíduos atingisse um N estatisticamente viável.

A identificação taxonômica foi realizada comparando-se as carapaças com os exemplares descritos em bibliografia clássica (BOLTOVSKOY et al., 1980; ELLIS & MESSINA, 1940; LOEBLICH; TAPPAN, 1964, 1985, 1988; ISHMAN; LI, 1994), literatura específica da área de estudo para classificação das espécies (ANDERSON, 1976; MAJEWSKI, 2005, 2009, 2010; RODRIGUES, 2010, 2013, 2015) e banco de imagens disponíveis no LACITE-EACH.

Para confirmação taxonômica, os espécimes encontrados foram fotografados em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (LABMEV – IGc/USP).

Após o término da identificação taxonômica, todas as carapaças das campanhas OPXXXV e OPXXXVI foram fotografadas em câmera digital (AxioCam SV6) acoplada ao estereomicroscópio e medidas no programa AxioVision da Zeiss®, sendo o tamanho das carapaças classificadas em: carapaças pequenas ($< 0,125 \mu\text{m}$), médias (125 - 250 μm), grandes (250 – 500 μm) e muito grandes ($> 500 \mu\text{m}$).

4.9 Análise e interpretação de dados

4.9.1 Descritores biológicos, parâmetros populacionais e índices ecológicos

Foram utilizados parâmetros e índices ecológicos comumente usados na

literatura e que melhor descrevem a associação de foraminíferos (MURRAY, 2006; MURRAY; PUDSEY, 2004; ISHMAN; DOMACK, 1994; MAJEWSKI, 2010), como:

- *Abundância absoluta (n)*: refere-se o número total de indivíduos (inteiros, ou parcialmente fragmentados) na amostra analisada e possui valores discretos;
- *Abundância relativa (p)*: refere-se ao número proporcional de indivíduos na amostra em valores contínuos expressos em percentagem, dado pela equação 1;

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

(Equação 3)

Onde, p_i é abundância relativa; n_i número de indivíduos da espécie i na amostra e N número total de indivíduos na amostra.

- *Densidade (d)*: é o número total de indivíduos a cada 10 cm³ de sedimento ou de volume total analisado.
- *Riqueza (S)*: é o número total de espécies na amostra;
- *Diversidade de Shannon (H')*: mede a distribuição das espécies num espaço amostral de forma aleatória. Quanto menor o valor do índice de Shannon, menor é a diversidade da amostra. A diversidade é mais alta quanto maior o valor do índice. Esse índice é sensível a espécies raras, é obtido pela equação 2:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

(Equação 4)

Onde, S é o número de espécies; e p_i é a abundância relativa da espécie i na amostra;

- *Dominância de Simpson (D)*: indica a probabilidade de dois indivíduos escolhidos ao acaso na associação faunística pertencerem à mesma espécie. Varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1, maior a probabilidade de os indivíduos serem da mesma espécie. Essa medição foi feita pela equação 3:

$$D = \sum_{i=1}^S [p_i^2]$$

(Equação 5)

Onde, p_i é a relativa da espécie i na amostra.

Os índices de Shannon e Simpson foram calculados no programa computacional estatístico Past 3.10® no LACITE/EACH-USP.

- *Equitatividade (E')*: expressa como os indivíduos de uma mesma amostra estão distribuídos e se as espécies estão distribuídas de forma homogênea. Os valores atribuídos são 0 (mínimo) e 1 (máximo) obtidos por meio da equação 4:

$$J' = \frac{H'}{H'_{\text{máx}}} = \frac{H'}{\ln S}$$

(Equação 6)

Onde, H' é a diversidade de Shannon e S o número total de espécies.

4.9.2 Análises Estatísticas Multivariadas

Para as análises multivariadas as espécies consideradas raras (com frequência relativa $\geq 3\%$) foram retiradas dos cálculos. Posteriormente, as matrizes das variáveis bióticas e abióticas foram transformadas em Log (x+1). Também foram realizados testes de normalidade para averiguar se um conjunto das variáveis era ou não bem modelado para uma distribuição normal. As variáveis abióticas e bióticas foram testadas para o valor de $p < 0,05$. Como não se obteve distribuição normal, utilizou-se testes não-paramétricos para as análises estatísticas.

Primeiramente, foi realizada análise de agrupamento por dissimilaridade, utilizando o método de Bray-Curtis que a partir da composição de espécies em cada amostra, grupos similares (análise de agrupamento) são formados, resultando em um dendograma que identifica dissimilaridades entre a fauna de foraminíferos resultando nos pontos amostrais agrupados de acordo com suas características.

Para relacionar dados abióticos e bióticos foi utilizado o coeficiente de correlação de Sperman. Esse coeficiente mede a relação entre uma ou mais variáveis do sistema. Os valores de p variam entre -1 e 1, sendo que as variáveis com valores próximos a esses

apresentam forte correlação (Tabela 5). As variáveis que apresentaram maiores correlações foram selecionadas e utilizadas nas análises subsequentes.

Tabela 5- Interpretação dos valores de p para correlação de Sperman.

Valor de p (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 1,9	Correlação muito fraca
0,2 a 0,39	Correlação fraca
0,4 a 0,69	Correlação moderada
0,7 a 0,89	Correlação forte
0,9 a 1	Correlação muito forte

Fonte: Gotelli e Ellison, 2016.

As análises foram submetidas a análise de componentes principais (ACP) baseada em distância Euclidiana, cuja métrica é dada pelo teorema de Pitágoras n-dimensional (GOTELLI; ELLISON, 2016). Este tipo de análise é usualmente empregado para redução da dimensionalidade de dados multivariados, identificando variáveis que estão relacionadas e entre elas, destaca as variáveis de maior componente. Foi realizada também a Análise de Correlação Canônica (ACC) que é uma análise de correspondência, semelhante a uma análise de coordenada principal que mostra quais variáveis ambientais influenciam nas principais espécies das amostras (GOTELLI; ELLISON, 2016).

5 RESULTADOS

5.1 OPERANTAR 35 – 2016

5.1.1 Granulometria, teores de carbonato, C, N e razão C/N

Os sedimentos BA são predominantemente siltico-argilosos, com exceção dos pontos Hennequin (H) e Ilha Dufayel (ID), onde ocorrem areia-siltosa e silte-arenoso, respectivamente (Tabela 6). Em H a porcentagem de areia chega a 63% (Figura 13). De acordo com a classificação de Folk e Ward (1957), os sedimentos das áreas próximas à entrada da BA (Botany, Dufayel e Hennequin) são muito mal selecionados. Os demais são mal selecionados (Tabela 6).

Figura 13 - Mapa de distribuição de porcentagens de areia e lama em cada ponto de coleta da Baía do Almirantado (BA), Ilha Rei George. – OPXXXV (2016).

Todas as amostras analisadas apresentam porcentagens de carbonato de cálcio abaixo de 15,20%, indicando a presença de sedimentos essencialmente litoclásticos (Tabela 6). As porcentagens de COT variam entre 0,20 e 0,55%, sendo os maiores valores encontrados nos pontos H1, T30 e T60. Os valores de NT variam entre 0,03 e 0,09%, sendo o maior valor encontrado nos pontos T30 e T60 e o menor valor em BN (0,03%).

A partir da razão C/N foi possível constatar que os pontos próximos a EACF apresentam matéria orgânica marinha (Figura 14), com exceção dos pontos H60, BN, H1 e RII, onde foi encontrada matéria orgânica de origem mista.

Figura 14 - Mapa de distribuição da classificação da origem da matéria orgânica a partir da razão C/N (Stein, 1991) nas amostras coletadas na BA- OPXXXV (2016). Os círculos com cores diferentes indicam a procedência predominante da matéria orgânica de acordo com a legenda da imagem.

Tabela 6 - Valores em porcentagem de distribuição granulométrica segundo Wentworth (1922), classificação do sedimento segundo Shepard (1954) e grau de seleção segundo Folk & Ward (1957). Classificação de Larssonneur et al. (1982) para os sedimentos das amostras coletadas na BA e teores em porcentagens de CaCO₃. Concentração de Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT), razão C/N e classificação da origem da matéria orgânica segundo Stein (1991) nos pontos de coleta dentro da BA - OPXXXV (2016).

AMOSTRA	Areia (%)					Lama (%)		Classificação	Grau de seleção	C	N	C/N	Classificação	CaCO ₃	Classificação
OP35/2016	Muito grossa	Grossa	Média	Fina	Muito fina	Silte	Argila	Shepard (1954)	Folk & Ward (1957)	C _{org. total} (%)	N _{total} (%)	C/N	Stein (1991)	CaCO ₃	Lassounner et al. (1982)
BN	0,00	0,42	2,84	4,12	6,46	58,69	27,46	Silte Argiloso	Muito mal selecionado	0,20	0,03	5,9	Mista	11,94	Litoclástico
ID	0,08	1,07	3,74	5,11	9,70	61,92	18,38	Silte Arenoso	Muito mal selecionado	0,54	0,06	8,5	Mista	11,46	Litoclástico
H1	0,00	0,52	16,91	29,96	15,98	27,94	8,68	Areia Siltosa	Muito mal selecionado	0,14	0,04	3,5	Marinha	13,62	Litoclástico
PU	0,00	0,21	1,41	3,53	5,92	62,61	26,33	Silte Argiloso	Mal selecionado	0,25	0,06	4,5	Marinha	14,41	Litoclástico
RII	0,00	0,31	1,61	3,34	9,67	59,72	25,35	Silte Argiloso	Mal selecionado	0,32	0,05	6,2	Mista	13,27	Litoclástico
H30	0,13	1,00	2,03	1,89	8,42	67,54	18,99	Silte Argiloso	Mal selecionado	0,23	0,04	5,2	Marinha	14,26	Litoclástico
T30	0,00	0,37	1,86	4,40	9,27	64,59	19,51	Silte Argiloso	Mal selecionado	0,40	0,09	4,4	Marinha	13,78	Litoclástico
H60	0,03	0,80	2,33	2,45	5,17	62,30	26,93	Silte Argiloso	Mal selecionado	0,34	0,06	5,6	Mista	13,09	Bioclástico
T60	0,00	0,02	2,20	5,22	5,35	65,55	21,67	Silte Argiloso	Mal selecionado	0,43	0,09	4,9	Marinha	15,20	Litoclástico

5.1.2 Elementos metálicos, metaloides e Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPAs) OP2016

As concentrações absolutas de metais e metaloides detectados no sedimento dos pontos coletados dentro da BA no ano de 2016 e a comparação com os parâmetros de qualidade estabelecidos pelo CONAMA (454/12) e pela Lista Canadense (CCME - Canadian Ministers of the Environment) estão representados na tabela 7 e figura 15.

Figura 15 - Concentração dos elementos: As (Arsênio), Cr (Crômio), Cu (Cobre) e Zn (Zinco) em $\mu\text{g.g}^{-1}$ que apresentaram valores significativos nas amostras coletadas na Baía do Almirantado - OPXXXV 2016.

Os valores de Arsênio (As) estão acima do valor de TEL estabelecido pela CCME em todos os pontos de coleta. Já os valores absolutos de Níquel (Ni) e Cobre (Cu) apresentam valores bem acima do Nivel 1 do CONAMA/454 e do TEL, indicando que o sedimento pode vir a causar algum dano a biota. Entretanto, o Ni foi quantificado somente em 3 pontos de coleta (B, PU e RII), já os valores de Cu foram encontrados em todas as amostras (exceção para ID).

Os resultados de I_{geo} (Apêndice E) apresentam valores máximos na classe 3, e predominando entre 2-3 (moderadamente poluído a poluído) no ponto H60 para o elemento Al. Os demais pontos não são considerados poluídos pois se enquadram dentro da classe 0 (não poluído). De acordo com a classificação de Sutherland (2000) e utilizando o Escândio (Sc)

como elemento normalizador, a maioria das amostras não são enriquecidas por metais ou metalóides (Apêndice D). Contudo, foi possível detectar impacto antropogênico em algumas amostras. Por exemplo, as amostras em frente a EACF e ao refúgio H30, T30, H60, RII e T60 apresentam enriquecimento moderado (2-5) por As. E, a amostra H60 apresentou enriquecimento significativo por Al, de acordo com a classificação de Sutherland (2000).

Os valores de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos totais estão apresentados na tabela 7 e figura 16. Os valores totais de HPAs oscilam entre $6,5 \text{ ng.g}^{-1}$ e $147,0 \text{ ng.g}^{-1}$, sendo o maior valor observado no ponto H30 (Figura 16). Todos os valores de HPAs totais detectados encontram-se abaixo do limite de critérios de qualidade proposto pela Lista Canadense (CCME - Canadian of Ministers of the Environment).

Figura 16 - Gráfico referente aos valores de HPAs totais nos sedimentos das amostras coletadas na Baía do Almirantado - OPXXXV (2016). Todas as amostras encontram-se abaixo dos valores de TEL (1684 ng.g^{-1}).

Tabela 7 - Concentração de metais e metalóides (em $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), teores de HPA's totais (em $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$) e valores de referência (CONAMA- 454/2012; CCME, 2002) nas amostras coletadas dentro da Baía do Almirantado - OPXXXV (2016). Onde nd = não detectado por ser menor que o limite de detecção e * = valores não quantificados. Os valores acima dos valores de referência estão destacados em negrito.

Elementos metálicos e Metalóides	Arsênio As	Alumínio Al	Cádmio Cd	Crômio Cr	Cobre Cu	Escândio Sc	Ferro Fe	Níquel Ni	Chumbo Pb	Selênio Se	Zinco Zn	Mercúrio Hg	HPAs Totais
unidade	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	mg/Kg	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	mg/Kg	mg/Kg	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	$\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$
Limite de detecção	0,4	0,28	*	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	*	0,3	*	*
Limite de quantificação	0,2	1,4	*	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	89,0	*	1,4	*	*
Nível 1 (CONAMA/454)	19	*	1,2	81	34	*	*	20,9	46,7	*	150	0,3	4000
Nível 2 (CONAMA/454)	70	*	7,2	370	270	*	*	51,6	218	*	410	1	*
TEL (CCME, 2002)	7,24	*	0,7	52,3	18,7	*	*	15,9	30,2	*	124	0,13	1684 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$
PEL (CCME, 2002)	41,2	*	4,2	160	108	*	*	42,8	112	*	271	0,7	16770 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$
Média±Desv.padrão	10,6±3,1	562±87,2	*	37,6±6,2	62,9±6,3	7,03±094	37,9±5,0	25±3,6	9	3,2	61,3±6,4	*	47,1±41,1
B	6,3	28489,0	nd	50	63	7,6	36022,9	29	nd	nd	61	nd	38,3
ID	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	28,9
H	7,4	20749,0	nd	43	55	6,2	30775,2	nd	nd	nd	50	nd	17,7
PU	8,7	34259,3	nd	34	61	8,7	47217,7	22	9	nd	66	nd	33,7
RII	14,2	22908,1	nd	35	74	6,4	35822,4	24	nd	3,2	58	nd	6,5
H30	12,3	23749,7	nd	30	57	6,5	39561,9	nd	nd	nd	62	nd	147
T 30	10,5	22126,3	nd	36	61	6,0	35909,8	nd	nd	nd	58	nd	35,7
H60	10,4	27174,0	nd	37	70	7,8	42034,7	nd	nd	nd	72	nd	63,8
T60	15	25709,2	nd	36	62	7,0	36067,9	nd	nd	nd	63	nd	52,3

5.1.3 Análise de foraminíferos - Biocenose OP2016

Na campanha OPXXXV de 2016, foram encontrados 1.027 indivíduos vivos e identificadas 26 espécies, pertencentes às subordens Textulariina (17) e Rotaliina (9). O volume de sedimento triado para atingir o número de 100 indivíduos vivos varia de 30 a 100 cm³ (Apêndice B). Os valores de densidade foram padronizados em 100 cm³ de sedimento para melhor comparação entre as amostras.

Os valores de densidade de foraminíferos vivos variam de 11 a 495 ind.100cm⁻³, sendo o menor valor observado em H1 (Figura 18). Já os maiores valores (≥ 100 ind.100cm⁻³) são encontrados nos pontos H60, T60, RII e PU. Os valores de riqueza variam de 4 a 16 ind.100cm⁻³, onde os menores valores ocorrem em H1 e os maiores em PU e no ponto H60 (Figura 18).

De modo geral, as espécies aglutinantes apresentam maior riqueza em relação às calcárias. Apesar de menos diversas, as espécies calcárias são mais abundantes, sendo a *Globocassidulina subglobosa* a espécie dominante (> 50% da amostra), seguida de *Pseudobolivina antarctica*, *Deuterammina grisea* e *Cassidulinoides parkeriana*, em ordem decrescente de importância (Figura 17). As carapaças identificadas em sua maioria pertencem às classes Rotaliina, Textulariina, Miliolida e Spirilinida.

Figura 17 - Distribuição de espécies dominantes (ind.100cm⁻³) na biocenose em cada ponto de coleta realizada na Baía do Almirantado.

Figura 18 - Densidade (ind.100cm⁻³) e valores de Riqueza (S) dos foraminíferos vivos das amostras coletadas na Baía do Almirantado, durante a OPXXXV (2016).

Os valores de Dominância de Simpson (1-D) variam entre 0,45 e 0,86, sendo o menor valor observado no ponto H1 e os maiores valores em H60 e ID (Figura 19). Os pontos amostrais apresentam dominância de Simpson maior que 0,7, indicando maior diversidade e pouca dominância de espécies (Figura 19).

O índice de Shannon-Wiener (H) apresenta maior variação entre as amostras, mas segue a mesma tendência dos valores de dominância de Simpson (1-D), onde os menores valores são observados no ponto H1 (0,89) e os maiores em H60 e ID (H' : 2,26 e 1,60) (Figura 19). Os valores de Equitatividade (E) variam entre 0,58 e 0,73, sendo que os pontos H1, RII, PU e T60 apresentam menores valores de E ($<0,70$), mostrando baixa homogeneidade na distribuição das espécies.

Figura 19- Valores de diversidade de Shannon, dominância de Simpson e equitatividade das biocenoses e tanatocenoses em amostras coletadas na Baía do Almirantado em novembro de 2016.

A maioria das carapaças na BA é grande (250 - 500 μm). Somente na Ponta Ulmann é que há um aumento expressivo de carapaças médias (Figura 20). Não foram observadas carapaças pequenas.

Análise de Agrupamento formou um dendrograma constituído por três grupos (G1, G2 e G3), com nível de corte 0,250 (Figura 22). O grupo G1 é formado pela amostra H1 e tem como espécie mais abundante *Deuterammina grisea* (Figuras 21 e 22). A amostra apresenta baixa densidade de foraminíferos vivos e baixa riqueza e diversidade (N: 11 e S: 4, 1-D: 0,45; H' : 0,89, Tabela 8).

Figura 20 - Morfometria de carapaças de foraminíferos vivos dos pontos de coleta na Baía do Almirantado durante a OPXXXV (novembro de 2016).

O grupo G2 é constituído pela amostra ID, caracterizado pela presença expressiva de *Cassidulinoides parkeriana*, valores elevados de densidade ($410 \text{ ind.}100\text{cm}^{-3}$), riqueza (S: 13), diversidade (H' : 1,95) e equitabilidade (E: 0,75). O grupo G3 é subdividido em outros três grupos (G3A, G3B e G3C) (Figuras 21 e 22, Tabela 8).

Figura 21 - Distribuição dos grupos indicados pelo dendograma referente a biocenose das amostras coletadas na Baía do Almirantado - OPXXXV (2016).

Figura 22 - Dendograma baseado na similaridade de Bray-Curtis com nível de corte indicado pela linha tracejada referente a biocenose das amostras coletadas na Baía do Almirantado durante a OPXXXV (2016).

Tabela 8 - Valores médios e desvio padrão de densidade em 100 cm⁻³ de sedimento, riqueza de espécies (S), índice de Simpson (1-D), Shannon-Whiener (H'), Equitativa de (E) e espécies dominantes dos grupos formados pelo dendograma nas amostras de biocenose da Baía do Almirantado - OPXXXV (2016).

Grupos	Densidade (ind.100cm ⁻³)	S	1-D	H'	E	Espécies abundantes
G1	11	4	0,45	0,89	0,64	<i>Deuterammina grisea</i>
G2	410	13	0,79	1,95	0,76	<i>Cassidulinoides parkeriana</i>
G3A	412	16	0,61	1,60	0,58	<i>Pseudobolivina antartica</i>
G3B	198 ± 258	10,25 ± 4,19	0,7 ± 0,06	1,6 ± 0,14	2,9 ± 0,12	<i>Deuterammina grisea</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>
G3C	450 ± 64	12 ± 4,24	0,7 ± 0,04	1,5 ± 0,11	0,6 ± 0,05	<i>Globocassidulina biora</i> <i>Globocassidulina spp.</i> <i>Globocassidulina subglobosa</i>

O grupo G3A é formado pela amostra PU, que tem *Pseudobolivina antartica* como espécie dominante, e altos valores de densidade, riqueza (S: 16), diversidade de espécies (H': 1,60), distribuídas de forma heterogênea (E: 0,58) (Figuras 21 e 22, Tabela 8).

O grupo G3B representado pelas amostras BN, H30, T30 e H60 (Figura 22). As amostras apresentam baixa densidade de espécies (58, 32 e 62) e riqueza (S: 9, 6 e 10), excetuando a amostra H60 que apresenta os elevados valores de densidade (101), diversidade (H': 2,28) e riqueza (S: 16). Esse grupo tem como espécie representativa *Deuterammina grisea*. Para as demais, os índices ecológicos mostram valores mais baixos de diversidade de espécies (1-D: 0,70; 0,75 e 0,79) (H': 1,56; 1,53 e 0,86), distribuídas de forma homogênea (E: 0,64; 0,86 e 0,79) e o gênero *Globocassidulina* é o mais representativo em todas as amostras.

O grupo G3C é representado pelas amostras RII e T60. Ambas apresentam as maiores densidades de espécies (277 e 198 ind.100cm⁻³) e alta riqueza (S: 9 e 15) dentre todas as amostras estudadas. Os índices de diversidade mostram baixa dominância e alta

diversidade nas amostras RII (1-D: 0,72 e H': 1,42) e T60 (1-D: 0,66 e H': 1,57). Em ambas as amostras a distribuição ocorre de forma heterogênea (E: 0,64 e 0,58) e têm a espécie *Globassidulina subglobosa* como a mais abundante (Figuras 21 e 22, Tabela 8).

5.1.4 Análise de foraminíferos - Tanatocenose OP2016

Na campanha de 2016, foram encontrados 1.735 foraminíferos mortos e identificadas 29 espécies, pertencentes as classes Rotallina, Textulariina, Milliolida e Spirulinida. Foram triados entre 30 e 100 cm³ de sedimento para atingir o número de 200 indivíduos.

Os valores de densidade de tanatocenose variam entre 5 e 1.033 ind.100cm⁻³ (Figura 24), sendo o ponto H1 o que apresentou menor valor. As maiores densidades foram encontradas nos pontos ID, PU e T60. Grande parte dos pontos amostrais apresenta alta riqueza de espécies com exceção do ponto RII que apesar da alta densidade de foraminíferos (374) tem como espécies dominantes as globocassidulinas e *Milliamina arenacea*.

Figura 23 - Distribuição de espécies dominantes (ind.100cm⁻³) na tanatocenose 2016 em cada ponto de coleta realizada na Baía do Almirantado.

Figura 24 - Densidade (ind.100cm⁻³) e valores de Riqueza (S) de foraminíferos na tanatocenose das amostras coletadas na Baía do Almirantado na OPXXXV (2016).

As amostras apresentam maior diversidade de espécies aglutinantes, porém as espécies calcárias são mais abundantes (Figura 23), sendo *Globocassidulina subglobosa* a espécie dominante, seguida de *Deuteramina grisea*, *Cassidulinoides parkeriana* e *Pseudobolivina antartica*.

Os valores de Dominância de Simpson (1-D) variam entre 0,48 e 0,89, sendo o menor valor observado nos pontos H1 e BN e os maiores valores nos pontos H60 e T60 (Figura 27). Os pontos apresentam dominância de Simpson maior que 0,7, mostrando que há maior diversidade de espécies com pouca dominância (Figura 19).

Os valores do índice de Shannon-Wiener (H) apresentam maior variação entre as amostras (entre 0,67 e 2,54) e seguem a mesma tendência dos valores da dominância de Simpson (1-D), no qual os menores valores foram encontrados no ponto H1 (0,67) e os maiores valores nos pontos H60 e T60 (2,29 – 2,54) (Figura 19).

A Equitatividade (E) varia entre 0,54 e 0,85. O ponto Botany apresenta o menor valor (<0,70), exibindo baixa homogeneidade na distribuição das espécies composta quase que totalmente por Globocassidulinas. O maior valor foi encontrado no ponto H1 onde há poucos foraminíferos (Figura 19).

A distribuição de tamanhos das carapaças na tanatocenose varia entre carapaças média, grande e muito grande (Figura 25). Nas amostras próximas à EACF há predominância de carapaças grande (50% – 80%). Nos pontos RII e Botany há uma distribuição muito parecida entre carapaças médias, grandes e muitos grandes. Os pontos ID, H e PU apresentam maiores porcentagens de carapaças de tamanhos médio e grande (125-500 µm).

Figura 25 - Morfometria de carapaças de foraminíferos mortos dos pontos de coleta na Baía do Almirantado - OPXXXV (2016).

A análise de agrupamento baseado na distância de Bray-Curtis agrupou as amostras conforme a distribuição das abundâncias entre as amostras (Figuras 26 e 27, Tabela 9). A partir do dendograma resultante da análise, foi possível reconhecer três grupos (G1, G2 e G3) semelhantes (Figura 26).

Figura 26 - Dendograma baseado na similaridade de Bray-Curtis com nível de corte indicado pela linha tracejada referente a tanatocenose das amostras coletadas na Baía do Almirantado - OPXXXV (2016).

Figura 27- Distribuição dos grupos indicados pelo dendograma referente a tanatocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXV (2016).

Tabela 9 - Valores médios e desvio padrão de densidade (ind.100cm⁻³), riqueza de espécies (S), índice de Simpson (1-D), Shannon- Whiener (H'), Equitatividade (E) e espécies dominantes dos grupos formados pelo dendograma nas amostras de tanatocenose das amostras coletadas na Baía do Almirantado – OPXXXV 2016.

Grupos	Densidade (ind.100cm ⁻³)	Riqueza	1-D	H'	E	Espécies abundantes
G1	5	2	0,5	0,67	0,97	<i>Globocassidulina</i> spp.
G2	330	16	0,6	1,50	0,54	<i>Globocassidulina</i> spp.
G3A	670 ± 513	16,5 ± 3,54	0,80 ± 0,01	2,02 ± 0,08	0,72 ± 0,03	<i>Cassidulinoides parkeriana</i> <i>Pseudobolivina antarctica</i>
G3B	315 ± 191	14,00 ± 4,64	0,84 ± 0,06	2,11 ± 0,41	0,81 ± 0,07	<i>Globocassidulina biora</i> <i>Deuterammina grisea</i> <i>Globocassidulina</i> spp.

O grupo G1 é formado pela amostra H1 e tem como espécie mais abundante *Globocassidulina* spp. A amostra apresenta baixa densidade de foraminíferos mortos e baixa riqueza (5 e S: 2). Os índices ecológicos mostram baixa diversidade de espécies (1-D: 0,5; H': 0,67) e distribuição homogênea (E: 0,97) (Tabela 9).

O grupo G2 é formado pela amostra BN, tem como espécie mais representativa a *Globocassidulina* spp. e apresenta grande quantidade de foraminíferos mortos e alta riqueza de espécies (330; S: 16). Os índices ecológicos mostram alta diversidade de espécies (1-D: 0,6; H': 1,50) distribuídas de forma pouco homogênea (E: 0,54).

O grupo G3A é formado pelas amostras ID e PU. Essas são as mais representativas em quantidade de foraminíferos mortos com alta riqueza de espécies, as espécies, sendo as espécies mais abundantes *Cassidulinoides parkeriana* e *Pseudobolivina antartica*, respectivamente. Os índices ecológicos apontam alta diversidade de espécies (1-D: 0,8 e 0,8; H': 1,96 e 2,08) bem distribuídas (E: 0,74 e 0,70) (Tabela 9).

O grupo G3B é formado pelas amostras RII, H30, H60, T30 e T60, que se caracteriza pela alta densidade de foraminíferos. As espécies mais abundantes são *Deuterammia grisea* e *Globocassidulina biora*. Os valores de índices ecológicos indicam alta diversidade de espécies (1-D: 0,7; 0,9; 0,8; 0,9 e 0,9) (H': 1,45; 2,23; 2,03; 2,29 e 2,54) distribuídas de forma homogênea para o grupo (E: 0,70; 0,80; 0,85; 0,85 e 0,85) (Tabela 9).

5.2 OPERANTAR 36 – 2018

5.2.1 Granulometria, teores de carbonato, C, N e razão C/N

Os sedimentos BA são predominantemente siltico-argilosos, com exceção dos pontos H1, H2, PU, H30, MK2 onde foram observados areia-siltosa e silte-arenoso (Figura 28, Tabela 10).

Nos pontos H1 e H2 ocorrem as maiores porcentagens de areia (>50%) (Figura 28). De acordo com o grau de seleção de Folk e Ward (1957), os sedimentos são mal selecionados com exceção do ponto H1, classificado como muito mal selecionado. De acordo com a classificação de Folk & Ward (1957), os sedimentos são classificados como mal selecionados, com exceção dos pontos H e H2 que foram classificados como muito mal selecionado (Tabela 10).

Figura 28 - Mapa de distribuição de porcentagem de areia e lama em cada ponto de coleta da Baía do Almirantado, Ilha Rei George. – OPXXXVI (2018).

Os teores de carbonato de cálcio variam entre 10 e 14%, sendo os sedimentos, portanto, classificados como litoclásticos. Em alguns pontos não foi possível identificar a origem da matéria orgânica, pois não havia valores identificáveis de COT (Tabela 10). As porcentagens de carbono orgânico total (COT) variam entre 0,20 e 0,61%, sendo o maior valor encontrado no ponto T30. Os valores de Nitrogênio (NT) variam entre 0,02 a 0,10% sendo o maior valor no ponto T30.

A partir da razão C/N foi possível averiguar a origem da matéria orgânica (Figura 29) e três pontos apresentaram origem marinha: Ponta Ulmann, Refúgio 2 e H30.

Figura 29 - Mapa de distribuição da classificação da origem da matéria orgânica, a partir da razão C/N (STEIN, 1991) nas amostras coletadas na Baía do Almirantado - OPXXXVI (2018).

Tabela 10 - Valores em porcentagem de distribuição granulométrica segundo Wentworth (1922) e teores em porcentagem de CaCO₃ e classificação de Larssonneur et al. (1982), Concentração de Carbono orgânico total (COT), Nitrogênio total (NT), razão C/N e Classificação da origem da matéria orgânica segundo Stein (1991) nos pontos de coleta na Baía do Almirantado - OPXXXVI (2018). classificação do sedimento segundo Shepard (1954) e grau de seleção segundo Folk & Ward (1957).

OP36	Areia(%)					Lama (%)		Classificação	Grau de seleção	C	N	C/N	Classificação	CaCO ₃	Classificação
Amostra	Muito grossa	Grossa	Média	Fina	Muito fina	Silte	Argila	Shepard (1954)	Folk & Ward (1957)	C _{org} (%)	N _{total} (%)	C/N	C/N Stein (1991)	CaCO ₃	Larssonneur et al. (1982)
B	0,00	0,50	3,98	10,74	18,89	47,63	18,26	Silte arenoso	Mal selecionado	n.d.	0,02	n.d.	n.d.	12,59	Litoclástico
H1	0,16	3,11	17,09	22,77	13,74	31,55	11,58	Areia siltosa	Muito mal selecionado	n.d.	0,02	n.d.	n.d.	10,38	Litoclástico
H2	2,06	3,64	14,20	19,06	12,93	32,96	15,15	Areia siltosa	Muito mal selecionado	n.d.	0,02	n.d.	n.d.	10,78	Litoclástico
PU	0,16	1,14	4,90	10,70	12,85	54,25	16,00	Silte arenoso	Mal selecionado	0,31	0,06	5,5	Marinha	10,41	Litoclástico
RII	0,00	0,44	2,36	4,85	9,04	65,13	18,19	Silte argiloso	Mal selecionado	0,29	0,05	5,4	Marinha	11,21	Litoclástico
H30	0,00	0,40	4,39	10,44	10,83	55,61	18,33	Silte arenoso	Mal selecionado	0,31	0,07	4,3	Marinha	12,91	Litoclástico
T30	0,03	0,40	1,24	3,02	9,84	70,26	15,22	Silte argiloso	Mal selecionado	0,61	0,10	5,9	Mista	14,43	Litoclástico
H60	0,00	0,02	1,52	4,25	4,53	60,60	29,08	Silte argiloso	Mal selecionado	0,25	0,04	6,5	Mista	12,75	Litoclástico
T60	0,00	0,19	1,18	2,53	5,51	62,73	27,86	Silte argiloso	Mal selecionado	0,34	0,05	6,6	Mista	13,83	Litoclástico
MK1	0,00	0,73	5,44	5,50	4,63	60,14	23,56	Silte argiloso	Mal selecionado	0,29	0,04	6,6	Mista	13,83	Litoclástico
MK2	0,00	0,22	4,35	9,19	11,80	57,25	17,19	Silte arenoso	Mal selecionado	0,14	0,02	5,6	Mista	12,57	Litoclástico
MK3	0,17	0,64	3,91	6,23	7,29	57,09	24,68	Silte argiloso	Mal selecionado	0,24	0,04	5,9	Mista	10,76	Litoclástico

5.2.2 Elementos Metálicos, Metaloides e Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPAs) - OP2018

Os valores totais de HPAs detectados no sedimento estão representados na tabela 11. Os valores oscilam entre 5,0 e 371,0 ng.g^{-1} , sendo os maiores valores detectados em MK3 e RII (Figura 30). Todos os valores de HPAs totais detectados encontram-se abaixo do limite de critérios de qualidade proposto pela Lista Canadense (CCME - Canadian of Ministers of the Environment).

Figura 30 - Gráfico referente aos valores de HPAs totais nos sedimentos das amostras coletadas na BA- OPXXXV (2018). Todas as amostras encontram-se abaixo dos valores de TEL (1684 ng.g^{-1}).

Os valores de Arsênio (As) estão acima do valor de TEL em todos os pontos de coleta. Já os valores absolutos de Cádmio (Cd) e Níquel (Ni) estão acima do Nível 1 do CONAMA/454 e do TEL (Figura 31 e tabela 11), indicando que o sedimento pode vir a causar algum dano a biota. Entretanto esses metais foram quantificados somente em alguns pontos de coleta. (B, PU, RII, MK1, MK2 e MK3). Já os valores de Cu foram encontrados em todas as amostras (exceção para H1) e apresentaram valores bem acima do Nível 1 e do TEL. Inclusive as amostras MK1, MK2 e MK3 apresentaram valores acima do PEL, indicando que possivelmente esses valores significativos podem gerar algum dano a biota local.

De acordo com a classificação de Sutherland (2000) e utilizando o Escândio (Sc) como elemento normalizador, grande parte das amostras não estão enriquecidas por metal ou metalóide (Apêndice J). Todavia, algumas amostras apresentaram enriquecimento moderado de As nas amostras MK1 e MK2, enriquecimento de Cu em MK1, MK2 e MK3 e de Zn na amostra MK3.

Os resultados de I_{geo} (Apêndice K) apresentam valor máximo na classe 1, e predominando entre 0 -1 (não poluído a moderadamente poluído) na amostra MK3 para o elemento As e para Cu nas amostras MK1, MK2 e MK3. Os demais pontos não são considerados poluídos pois se enquadram dentro da classe 0 (não poluído).

Figura 31 - Concentração dos elementos: As (Arsênio), Cr (Crômio), Cu (Cobre) e Zn (Zinco) em $\mu\text{g.g}^{-1}$ que apresentaram valores significativos nas amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018).

Tabela 11 - Concentração de elementos metálicos e metalóides, teores de HPAs totais (ng.g⁻¹) nas amostras coletadas dentro da Baía do Almirantado - OPXXXVI (2018) e valores de referência (CONAMA- 454/2012; CCME, 2002). Onde nd = valor não detectado/ menor que o limite o limite de detecção e *= valores não quantificados. Valores acima dos valores de referência destacados em negrito.

Elementos metálicos e metalóides	Arsênio	Alumínio	Cádmio	Crômio	Cobre	Escândio	Ferro	Níquel	Chumbo	Selênio	Zinco	Mercúrio	HPAs totais
	As	Al	Cd	Cr	Cu	Sc	Fe	Ni	Pb	Se	Zn	Hg	
unidade	µg. g ⁻¹	mg/Kg	µg. g ⁻¹	µg. g ⁻¹	µg. g ⁻¹	mg/Kg	mg/Kg	µg. g ⁻¹	µg. g ⁻¹	µg. g ⁻¹	µg. g ⁻¹	µg. g ⁻¹	(ng. g ⁻¹)
Limite de detecção	0,4	0,28	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0	0,1	0,1	*
Limite de quantificação	0,2	1,4	*	0,5	0,4	0,2	0,3	0,3	89,0	0,0	1,4	0,0	*
Nível 1 (CONAMA/454)	19	*	1,2	81	34	*	*	20,9	46,7	*	150	0,3	4000
Nível 2 (CONAMA/454)	70	*	7,2	370	270	*	*	51,6	218	*	410	1	*
TEL (CCME, 2002)	7,24	*	0,7	52,3	18,7	*	*	15,9	30,2	*	124	0,13	1684 ng. g ⁻¹
PEL (CCME, 2002)	41,2	*	4,2	160	108	*	*	42,8	112	*	271	0,7	16770 ng. g ⁻¹
Média±Desv.padrão	11,4 ±2,8	24,2±38	1,2±0,1	29,4±13	77,2±31,7	6,7±0,8	38,5±4,9	18,0±1,4	10,1±1,3	3,2	65,2±120	*	78±113,4
B	nd	30193,0	nd	38	60	7,98	33928,4	24	nd	nd	56	nd	27
H1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
H2	7,7	18384,0	nd	39	55	5,58	32844,9	27	nd	nd	52	nd	5
PU	9,6	28464,4	nd	41	50	6,70	34966,2	nd	nd	nd	59	nd	6
RII	11,7	21176,5	nd	35	64	5,99	40546,9	25	nd	3,2	57	nd	371
H30	10,2	22222,8	nd	36	58	6,15	36565,9	nd	nd	nd	55	nd	32
T30	13	27110,1	nd	35	62	7,47	43377,1	nd	nd	nd	66	nd	30
H60	7,6	26372,7	nd	34	56	7,60	36961,8	nd	nd	nd	56	nd	61
T60	11,4	26803,0	nd	37	68	7,19	39613,6	nd	nd	nd	71	nd	48
MK1	12,0	22135,8	1,1	9,5	120,0	6,11	35378,7	10,2	9,6	nd	79,9	nd	32
MK2	14,5	20520,2	1,4	8,6	138,0	6,93	49646,8	11,7	11,5	nd	78,6	nd	32
MK3	16,4	22445,5	1,2	9,9	118,2	5,58	39512,5	10,2	9,1	nd	86,4	nd	219

5.2.3 Análise de foraminíferos - Biocenose – OP2018

Em geral, a OPERANTAR XXXVI (2018) não apresenta grande quantidade de foraminíferos, por isso foi necessária a análise de uma média de 100 cm³ de sedimento para encontrar 300 indivíduos (sendo 100 vivos) (Apêndice H). Foram encontradas 2.117 carapaças de foraminíferos distribuídas entre 36 espécies pertencentes às classes Rotallida, Textulariida, Miliolida e Spirillinida.

Na maioria das amostras foi necessária a triagem de 100 cm³ de sedimento, com exceção dos pontos H60 e T60, onde foi possível atingir valores de densidade de 300 ind.20cm⁻³. Posteriormente, esses valores foram normalizados em 100 cm³ para melhor comparação entre os dados.

Na figura 32 pode-se notar que os valores de densidade variam entre 3 e 510 ind.100cm⁻³, sendo que a amostra MK2 apresenta menor valor de densidade (3 ind.100cm⁻³) e a amostra H60 o maior valor (510 ind.100cm⁻³). Os valores de riqueza (S) variam entre 2 e 9, sendo que as amostras H2 e T60 apresentam maiores valores enquanto as amostras T30 e MK2 os menores (Figura 32).

Há seis espécies mais abundantes entre os foraminíferos vivos (Figura 32); *Bolivinella pacifica*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Globocassidulina bora*, *Globocassidulina subglobosa*, *Pseudobolivina antartica* e *Spiroplectammina biformis*. As espécies raras com valores relativos < 3% e estão apresentadas no apêndice I. Há grande quantidade de espécies de carapaças calcárias em todas as amostras (Figura 33).

Figura 32 - Densidade de foraminíferos em 100cm³ de sedimento triado e valores de Riqueza (S) de foraminíferos vivos das amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018).

Figura 33 - Distribuição de espécies dominantes (ind.100⁻³) na biocenose em cada ponto de coleta realizada na BA - OPXXXVI (2018).

O índice de dominância de Simpson (1-D) varia entre 0,06 e 0,83, sendo que as amostras H2, PU e T60 apresentam os maiores valores. Já o ponto T30 é o que apresenta menor valor (1-D: 0,06) (Figura 34). No geral, as amostras apresentam baixa diversidade de espécies. Os valores de diversidade de Shannon-Wiener (H') variam de 0,15 a 1,96, sendo os maiores valores encontrados nas amostras H2 e T60. Os valores de Equitatividade (J) variam entre 0,21 e 0,92; a maioria das amostras apresenta homogeneidade na distribuição das espécies (valores $>0,7$), com exceção do ponto T30 onde há alta dominância de *Globocassidulina*.

Figura 34 - Índices Ecológicos das espécies coletadas na OPERANTAR 36 - 2018.

No verão de 2018, carapaças de tamanhos médio e grande ocorrem majoritariamente nos pontos de coleta próximos a EACF e na enseada Mackellar (Figura 35). Os valores de tamanhos de carapaças muito grande são mais expressivos na estação RII e carapaças pequenas ocorrem somente na MK3.

Figura 35 - Morfometria de carapaças de foraminíferos vivos dos pontos de coleta na BA - OPXXXI (2018).

A análise de agrupamento gerou um dendograma baseado na distância Bray-Curtis no qual agrupa as amostras de acordo com a distribuição das abundâncias entre as amostras. A partir do dendograma foi possível reconhecer três grupos formados pela associação de foraminíferos no corte de 0,15 (Figuras 36 e 37).

O grupo G1 é formado pela amostra MK2 e apresenta baixa densidade (3 ind.100cm⁻³) e riqueza de espécies na biocenose (S:2), com espécies predominantemente de carapaça aglutinante. Os índices ecológicos mostram baixa diversidade de espécies (1-D: 0,4 e H': 0,6) distribuídas uniformemente (E: 0,9) (Tabela 12).

O grupo G2 é subdividido em G2A e G2B. O primeiro subgrupo é formado somente pela amostra MKI e caracteriza-se por apresentar baixos valores de densidade (20 ind.100cm⁻³), riqueza (S: 4) e diversidade (1-D: 0,6 e H': 1,1) (Tabela 12). O grupo G2B é formado pelas amostras H1, H2, PU e T60. Todas as amostras apresentam baixos valores de densidade (7 a 28 ind.100cm⁻³) e alta riqueza, com exceção da amostra H1 que apresentou valor baixo (S: 3 a 10). Os índices ecológicos indicam alta diversidade de espécies nos pontos H2, PU e Tanques, mas baixa diversidade no ponto H1. Em todas as amostras as espécies estão distribuídas de forma homogênea (Tabela 12).

O terceiro grupo também foi subdividido em G3A e G3B. O subgrupo G3A é formado pelas amostras B, R2II, H30 e MK3 e apresenta grande quantidade de espécies de *Globocassidulina* spp. Esse grupo apresenta baixa densidade (9 a 28 ind.100 cm⁻³) e riqueza (S:3; 3 a 6 espécies). Os índices ecológicos indicam baixa diversidade de espécies distribuídas de forma homogênea nos pontos B, R 2 e MK3 (Tabela 10). O grupo G3B é formado apenas pelas amostras T30 e H60. Ambas apresentaram os maiores valores de densidades de foraminíferos vivos comparadas as outras amostras (30 a 510 ind.100cm⁻³), porém baixa riqueza (2 a 6). Os índices ecológicos indicam baixa diversidade de espécies (há grande quantidade de globocassidulinas), distribuídas de forma homogênea na amostra T60.

Figura 36 - Dendograma baseado na similaridade de Bray-curtis com nível de corte indicado pela linha tracejada referente a biocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018).

Figura 37 - Distribuição dos grupos indicados pelo dendograma referente a biocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXV (2018).

Tabela 12 - Valores médios e desvio padrão de densidade em 100cm³ de sedimento triado, riqueza de espécies (S), índice de Simpson (1-D), Shannon- Whinner (H'), Equitatividade (E) e espécies dominantes dos grupos formados pelo dendograma nas amostras de biocenose das amostras coletadas na B.A - OPXXXV (2018).

Grupos	Densidade (100cm ³)	Riqueza (S)	(1-D)	H'	E	Espécies dominantes
G1	3	2	0,4	0,6	0,9	<i>Spiroplectammina biformis</i>
G2A	20	4	0,6	1,1	0,8	<i>Globocassidulina</i> spp.
G2B	58,5 ±78,20	7,25±1,73	0,8±0,12	1,7±0,48	0,9±0,02	<i>Cassidulinoides parkeriana</i>
						<i>Bolivinella pacifica</i>
						<i>Pseudobolivina antártica</i>
G3A	15,75± 8,42	4,5±1,73	0,6±0,15	1,2;0,40	0,8±0,05	<i>Globocassidulina biora</i>
						<i>Globocassidulina subglobosa</i>
G3B	270± 339,41	4,0± 2,83	0,3±0,38	0,6±0,68	0,4±0,34	<i>Globocassidulina subglobosa</i>

5.2.4 Análise de foraminíferos - Tanatocenose – OP2018

Foram triadas 1.868 carapaças de foraminíferos mortos em 100 cm³ de sedimento, na maioria das amostras os valores de densidade são baixos (<200 ind.100cm⁻³) (Apêndice H). Foram identificadas 36 espécies de foraminíferos bentônicos sendo que dessas, 23 são do tipo aglutinante e 13 calcárias, apesar de haver maior diversidade de espécies aglutinantes há maior abundância de carapaça calcária.

A densidade de foraminíferos mortos variou entre 12 e 1.445 ind.100 cm⁻³ de sedimento, sendo o ponto MK3 o que apresentou menor quantidade de foraminíferos mortos (Figura 39). As maiores densidades foram encontradas nos pontos amostrais H60, T60 (≥ 200 ind.100cm⁻³), sendo essa mais próximas à EACF (Figura 39).

Figure 38 - Distribuição de espécies dominantes (ind.100⁻³) na tanatocenose em cada ponto de coleta realizada na Baía do Almirantado - OPXXXVI (2018).

Figura 39 - Densidade (ind.100cm⁻³) e valores de Riqueza (S) da tanatocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018).

Há maior abundância de espécies calcárias, sendo a *Globocassidulina* spp. a espécie mais abundante, seguida da *Pseudobolivina antartica*. As espécies *Deuterammina grisea* são dominantes em amostras que apresentam baixa abundância de *Globocassidulina* spp. e *P. antartica* (Figura 38).

Os valores de dominância de Simpson (1-D) variaram entre 0,60 e 0,90, mostrando que há alta diversidade de espécies na maioria dos pontos amostrais, com exceção dos pontos RII, no qual há muitas espécies de *Globocassidulina* e MK2, onde há poucas espécies (Figura 34).

Os valores de Shannon-Wiener (H') apresentam maior variação entre as amostras, o maior valor foi encontrado nas amostras H60e T60 (H' : 2,56 e 2,31) e o menor valor na amostra MK2 (H' : 1,12) (Figura 34).

Em geral, os valores de Equitatividade (E) mostram que as espécies estão distribuídas de forma homogêneas em grande parte das amostras. A equitatividade (E) apresentou valores que variam entre 0,56 e 0,84, sendo o menor valor na amostra RII e os maiores valores nas amostras H1 e H2.

A análise morfométrica mostra grande variação nas classes de tamanho das carapaças em toda BA (Figura 40). Nos pontos de coleta próximos a EACF ocorrem maiores porcentagens de carapaças grande e muito grande, na isóbata de 30 metros, e maiores porcentagens de média e grande na isóbata de 60 m. Um padrão semelhante é visto nas demais amostras, nas quais há predominância de carapaças de tamanhos médio e grande, com exceção da amostra RII, que apresenta maior porcentagem de foraminíferos de carapaça muito grande (Figura 40).

Figura 40 - Morfometria de carapaças de foraminíferos mortos dos pontos de coleta na BA - OPXXXVI (2018).

A partir do dendograma é possível visualizar três grupos no nível de corte 0,3 (Figura 41).

Figura 41 - Distribuição dos grupos indicados pelo dendrograma referente a tanatocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018).

Figura 42 - Distribuição dos grupos indicados pelo dendograma referente a tanatocenose das amostras coletadas na BA - OPXXXVI (2018).

O primeiro grupo (G1) é formado pela amostra MK2, apresenta menor densidade e riqueza de espécies. Os índices ecológicos indicam baixa diversidade de espécies (1-D :0,60 e H': 1,12), porém bem distribuídas (E: 0,81) (Tabela 13).

O grupo G2 é subdividido em G2A e G2B, sendo o grupo G2A formado pelas amostras H1 e H2, PU, T60 e H60 (Figura 41). A amostras apresentam valores de densidades que variam entre 48 a 1.445 ind.100cm⁻³, de diversidade entre 2,0 e 2,61, dominância entre 0,8 e 0,9 e equitatividade 0,8 e 0,9 (Tabela 13). Os maiores valores de densidade e riqueza ocorrem próximos à EACF (Figura 41).

Tabela 13 - Valores médios e desvio padrão de densidade em 100cm³ de sedimento triado, riqueza de espécies (S), índice de Simpson (1-D), Shannon-Wiener (H'), Equitatividade (E) e espécies dominantes dos grupos formados pelo dendograma nas amostras de tanatocenose das amostras coletadas na BA – OPXXXVI (2018).

Grupos	Densidade	Riqueza (S)	(1-D)	H'	E	Espécies dominantes
G1	12	4	0,6	1,12	0,81	<i>Deuterammina grisea</i>
G2A	426 ± 591	15,4± 3,8	0,0 ± 2,4	2,2 ± 0,2	0,8 ± 0,0	<i>Deuterammina grisea</i> <i>Pseudobolivina antarctica</i>
G2B	98 ± 43	0,8 ± 5,7	0,8 ± 0,0	2,4 ± 0,0	0,8± 0,0	<i>Deuterammina grisea</i> <i>Globocassidulina</i> spp.
G3A	144,0 ± 3 1,1	10,5±0,7	0,7±0,1	1,5±0,4	0,7 ± 0,2	<i>Globocassidulina</i> spp.
G3B	284,0 ± 7,1	15,0 ± 0,0	0,8 ± 0,0	2,0 ± 0,1	0,7 ± 0,0	<i>Globocassidulina</i> spp.

O grupo G2B formado pelas amostras MK1 e MK3, apresentando valores de densidade (67 e 12 ind.100 cm⁻³) e riqueza de espécies (S:4 a 10). Os índices ecológicos mostram que há alta diversidade de espécies (H': 1,8 e 1,1) e que elas estão distribuídas de forma homogênea entre os pontos amostrais.

O grupo G3 é subdividido em G3A e G3B (Figura 41 e 42). O G3A é composto pelas amostras B e RII (Figura 41). Ambas apresentaram grande quantidade da espécie *Globocassidulina* spp. Esse grupo apresenta altos valores de densidade de 122 a 166 ind.100cm⁻³, riqueza e diversidade, distribuídas de forma homogênea (Tabela 11).

O grupo G3B é formado pelas amostras H30 e T30. Apresentam valores de densidade 279 a 289 ind.100 cm⁻³) e riqueza (S: 15). Os índices ecológicos mostram alta diversidade de espécies (H': 2,08 e 1,91) distribuídas de forma homogênea (E: 0,8 e 0,7) e também apresentou grande quantidade de *Globocassidulina* spp.

5.3 Análises estatísticas multivariadas

Para as análises estatística foram utilizadas as variáveis abióticas: profundidade, granulometria, porcentagem de CaCO₃, elementos metálicos, metaloides e HPAs. A partir das frequências relativas da composição de foraminíferos foram selecionadas as espécies com valor relativo >3%, as espécies que foram desconsideradas nas análises estatísticas constam no apêndice C e I.

5.3.1 Correlação de Sperman

5.3.1.1 Biocenose (OP35 - 2016)

Os resultados gerados pela correlação de Sperman (Apêndice F) mostram correlações significativas fortes para algumas variáveis abióticas e bióticas:

1) Profundidade com dados de lama, Zn e a espécie *Egerella minuta*; 2) Lama mostra correlação com os metais Fe, Sc e Zn; 3) As com a espécie *Globocassidulina biora* (Gb) e *G. crassa* (Gc); 4) correlação entre os metais Al, Sc, Fe e Zn e 5) concentração de Cu com as espécies *G. biora* (Gb) e *G. subglobosa* (Gs).

Algumas correlações negativas fortes foram apresentadas para algumas variáveis como areia e os metais Al, Fe, Sc e Zn.

5.3.1.2 Biocenose (OP36 - 2018)

Os resultados da correlação de Sperman (Apêndice L) indicam que há algumas correlações positivas fortes e significativas entre os dados abióticos com bióticos como:

- 1) Se e a espécie *G. crassa* (Gc); 2) Cr com a espécie *D. grisea* (Dg) e *B. pacifica* (Bp);
- 3) HPAs e os metais Cu, Fe e sedimento fino (lama) e 4) pH e *L. sabulosa* (Ls)

A partir desses resultados pode-se observar a interação entre os dados abióticos e as espécies e discutir como podem influenciar na composição e estrutura de foraminíferos. Por exemplo, as amostras que apresentam maiores concentrações de Crômio têm maiores densidades de *Deuterammina grisea* (Dg) em comparação com as outras amostras.

Os resultados mostraram algumas correlações negativas fortes entre: 1) Areia e As e 2) *Globocassidulina* spp. e Crômio (Cr).

5.3.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

5.3.2.1 Biocenose 2016 e 2018

O primeiro componente principal gerado (CP) pela ACP (eixo X) explica 23,7% da variância dos dados e o segundo CP (eixo Y) explica 15,1 % da variância entre os dados. O *loading* das variáveis indicou como mais representativas e associadas ao eixo X os teores de metais As, Al, Cr, Cu, Sc, Fe e Zn e HPAs. O *loading* das variáveis não indica como muito representativas as variáveis associadas ao eixo Y (Tabela 14).

Tabela 14 - Fatores de carga das variáveis profundidade, % de Areia e Lama, % de CaCO₃, HPAs, Metais (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sc, Zn e Ar), espécies *Adercotryma Glomeratum* (Ag), *Bolivina pacifica* (Bp), *Cassidulinoides parkeriana* (Cp), *Cornuspira involvens* (Ci), *Deuterammina grisea* (Dg), *Eggerella minuta* (Em), *Epistominella exigua* (Ee), *Fursenkoina riggi* (Fr), *Globocassidulina bora* (Gb), *Globocassidulina crassa* (Gc), *Globocassidulina subglobosa* (Gs), *Globocassidulina* spp. (Gspp.), *Glomospira irregularis* (Gi), *Lepidoparatrochammina lépida* (Ll), *Leptohalysis catella* (Lc), *Loeblichopsis sabulosa* (Ls), *Pseudobolivina antartica* (Pa), *Pseudonodosinella nodulosa* (Pn), *Reusoolina apiculata* (Ra), *Reophax fusiformis* (Rf), *Spiroplectammina biformis* (Sb), *Textularia wiesneri* (Tw) e N.I (não identificado) (N.i) compostas pela PC1 e PC2 da Análise de Componentes Principais (ACP) da biocenose das amostras coletadas na BA em 2016 e 2018.

Variáveis	PC1	PC2
Prof	0.31	-0.37
HPAs	0.56	-0.25
As	0.82	-0.17
Al	0.85	-0.25
Cd	0.23	0.40
Cr	0.80	-0.16
Cu	0.95	0.05

Sc	0.93	-0.06
Fe	0.95	-0.03
Ni	0.29	0.31
Pb	0.25	0.20
Se	0.22	0.01
Zn	0.96	-0.01
Areia	-0.51	0.51
Lama	0.49	-0.48
CaCO₃	0.39	-0.57
Ag	0.14	-0.12
Bp	-0.36	-0.64
Cp	-0.58	-0.65
Ci	0.19	0.16
Dg	-0.20	-0.79
Em	-0.02	-0.69
Ee	-0.32	-0.32
Fr	-0.49	-0.59
Gb	0.43	-0.31
Gc	0.28	-0.36
Gs	0.53	-0.38
Gspp.	-0.04	-0.42
Gi	-0.72	-0.34
Ll	-0.51	-0.52
Lc	-0.11	0.16
Ls	0.00	0.28
Pa	-0.04	-0.67
Pn	0.12	0.14
Ra	-0.11	0.16
Rf	-0.05	-0.01
Sb	0.10	-0.60
NI	0.18	0.28
Tw	0.03	-0.21

A ACP mostra um grupo formado entre as variáveis que estão mais bem relacionadas (Figura 43). O grupo (destacado no gráfico pela cor azul) é formado pelos elementos metálicos e metaloides, teores de HPAs, lama, areia, profundidade e CaCO₃. Pode-se observar que o quadrante positivo do diagrama (círculo amarelo) mostra uma relação entre as espécies *G. bitor*, *G. crassa*, *G. subglobosa* com os teores de CaCO₃, HPAs, lama e profundidade. No mesmo quadrante no eixo positivo há a formação de um outro grupo (círculo vermelho) composto pelos metais Cd, Ni, Pb e Se com as espécies *Adercotryma Glomeratum* (Ag), *Cornuspira involvens* (Ci) e *Pseudonodosinella*

nodulosa (Pn). Já o grupo 2 (destacado pelo retângulo verde) mostra uma relação entre os metais As, Al, Cr, Cu, Sc, Fe e Zn.

Figure 43 - Análise de Componentes Principais (ACP) profundidade, % de Areia e Lama, % de CaCO_3 , HPAs, elementos metálicos e metalóides (Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Sc, Fe, Ni, Pb, Se e Zn), espécies *Adercotryma Glomeratum* (Ag), *Bolivinella pacifica* (Bp), *Cassidulinoides parkeriana* (Cp), *Cornuspira involvens* (Ci), *Deuterammina grisea* (Dg), *Eggerella minuta* (Em), *Epistominella exígua* (Ee), *Fursenkoina riggi* (Fr), *Globocassidulina biora* (Gb), *Globocassidulina crassa* (Gc), *Globocassidulina subglobosa* (Gs), *Globocassidulina* spp. (Gssp.), *Glomospira irregularis* (Gi), *Lepdoparatrochammina lepida* (Ll), *Leptohalysis catella* (Lc), *Loeblichopsis sabulosa* (Ls), *Pseudobolivina antarctica* (Pa), *Pseudonodosinella nodulosa* (Pn), *Reussoolina apiculata* (Ra), *Reophax fusiformis* (Rf), *Spiroplectammina biformis* (Sb), *Textularia wiesneri* (Tw) e N.I (não identificado) (N.i) compostas pela PC1 e PC2 da Análise de Componentes Principais (ACP) da biocenoses das amostras coletadas na BA em 2016 e 2018.

5.3.3 Análise de Correlação Canônica (ACC)

5.3.3.1 Biocenoses 2016 e 2018

As variáveis bióticas e abióticas selecionadas para análise canônica referente aos estudos de biocenoses foram profundidade, porcentagens de lama, CaCO_3 , metais e metalóides no diagrama, os nomes das variáveis aparecem abreviados.

Os dois primeiros eixos explicam 27% da variação na distribuição dos dados e os outros eixos somados, explicam 17,19%. No eixo 1 o diagrama mostra que os valores de metais, HPAs e profundidade estão associados positivamente com a espécie *G. subglobosa*, a esse eixo também está associada a espécie *Globocassidulina* spp. (Gspp.) (Figura 44). Os teores de CaCO_3 e areia estão associados negativamente ao eixo 1, onde encontram-se algumas espécies como *Epistominella exigua* (Ee) e *Eggerella minuta* (Em), e *D. grisea* (Dg).

Figura 44 - Diagrama de ordenação produzida pela Análise de Correlação Canônica com as variáveis referentes as biocenoses das amostras coletas na BA em 2016 e 2018.

Ao eixo 2 não há associações negativas relevantes. Já os teores dos metais Cr, Ni, Al e Sc estão associados positivamente às espécies *G. biora* (Gb) e *G. subglobosa* (Gs) no eixo 2.

5.3.5 Correlação de Sperman

5.3.5.1 Tanatocenose (OP35 – 2016)

Os resultados gerados pela correlação de Sperman (Apêndice G) mostram correlações positivas fortes e significativas entre algumas variáveis abióticas e bióticas: 1) HPAs com teores de lama e as espécies *G.biora* (Gb) e *M.arenacea* (Ma); 2) Lama apresentou correlação com os metais Al, Fe, Zn e com a espécie *G.subglobosa* (Gs); 3) profundidade, teores de Cu, Fe e a espécie *E. minuta* (Em) ; 4) teores de CaCO₃ com a espécie *Nspp* (Nspp) e 5) As com a espécie *G. subglobosa* (GS).

Correlação negativa forte apareceu relacionando Cr com a espécie *D. grisea* (Dg).

5.3.5.2 Tanatocenose (OP36 – 2018)

Os resultados da correlação de Sperman (Apêndice M) indicam poucas correlações positivas e significativas entre as variáveis abióticas e bióticas, como por exemplo: 1) Porcentagem de lama e teores de HPAs e os metais Fe e As e 2) os metais Al e Cr com teores de CaCO₃.

5.3.6 Análise de Componentes Principais (ACP)

5.3.6.1 Tanatocenose 2016 e 2018

O primeiro componente principal gerado (CP) pela ACP (eixo X) explica 22,5% da variância dos dados e o segundo CP (eixo Y) explica 15,5%. O *loading* (cargas) das variáveis indicou que a espécie *Globocassidulina biora* tem relação com os teores de metais e metaloides (Al, As, Cr, Cu, Sc, Fe e Zn), % de CaCO₃, textura fina do sedimento e HPAs como mais representativas e associadas ao eixo X. Já associados ao eixo Y estão os teores de Cd e Ni e a espécie *Epistominella exigua* (Ee) (Tabela 15).

Tabela 15 - Fatores de carga das variáveis profundidade, % de Areia e Lama, % de CaCO₃, HPAs, Metais e metalóides (Al, As, Cd, Cr, Cu, Sc, Fe, Ni, Pb, Se, Hg e Zn), espécies *Adercotryma glomeratum* (Ag), *Bolivina pacifica* (Bp), *Cassidinoides parkeriana* (Cp), *Cornuspira involvens* (Ci), *Cibicidoides wuellerstorffi* (Cw), *Deuterammia grisea* (Dg), *Epistominella exigua* (Ee), *Fursenkoina riggi* (Fr), *Globocassidulina bitor* (Gb), *Globocassidulina crassa* (Gc), *Globocassidulina subglobosa* (Gs), *Globocassidulina* spp. (Gspp.), *Glomospira irregularis* (Gi), *Lepidoparatrochammina lepidia* (Ll), *Leptohalysis catella* (Lc), *Loeblichopsis sabulosa* (Ls), *Pseudobolivina antarctica* (Pa), *Nonionella* spp. (Nspp.), *Milliamina arenacea* (Ma), *Reussolina apiculata* (Ra), *Reophax scorpiurus* (Rs), *Reophax* spp. (Rspp.), *Spiroplectammina bifurcata* (Sb) e *Textularia wiesneri* (Tw) compostas pela PC1 e PC2 da Análise de Componentes Principais (ACP) das tanatocenoses das amostras coletadas na B.A.

Variáveis	PC1	PC2
Prof	0.32	-0.19
Areia	-0.65	0.31
Lama	0.60	-0.33
CaCO₃	0.56	-0.50
HPAs	0.62	-0.01
As	0.80	0.18
Al	0.88	0.05
Cd	0.05	0.67
Cr	0.83	-0.03
Cu	0.88	0.35
Sc	0.90	0.16
Fe	0.91	0.24
Ni	0.20	0.50
Pb	0.10	0.49
Se	0.21	0.26
Zn	0.91	0.26
Ag	-0.05	-0.60
Bc	-0.06	-0.69
Bp	-0.20	-0.08
Cp	-0.45	-0.65
Cw	0.26	-0.32
Cj	0.15	-0.48
Dg	-0.14	-0.53
Ee	0.04	0.52
Em	0.13	-0.37
Fr	0.13	-0.72

<i>Gb</i>	0.60	-0.20
<i>Gc</i>	0.26	-0.07
<i>Gr</i>	0.40	-0.53
<i>Gs</i>	0.29	-0.60
<i>Gspp.</i>	0.34	-0.18
<i>Ll</i>	-0.37	0.13
<i>Ls</i>	0.12	0.29
<i>Ma</i>	0.48	-0.20
<i>Nspp.</i>	0.22	-0.43
<i>Pa</i>	-0.18	-0.46
<i>Ra</i>	0.33	-0.01
<i>Rspp.</i>	-0.26	0.47
<i>Rs</i>	-0.38	-0.16
<i>Sb</i>	-0.05	-0.29

Pode ser observado um grupo de variáveis formados na ACP, destacado pelo retângulo lilás. O quadrante positivo (entre 0,8 e 1,0) indica que há relação forte e positiva entre os metais Cu, Zn Fe, Sc, Cr e As (círculo laranja). Aparece também relação positiva entre os metais Ni, Pb, Cd e Se com as espécies de foraminíferos *Epistominella exígua* (*Ee*) e *Loeblichopsis sabulosa* (*Ls*) (círculo verde) (Figura 45).

Figura 45- Análise de Componentes Principais (ACP) de % de Areia e Lama, % de CaCO_3 , HPA's, Metais (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sc, Zn e Hg) e as espécies *Adercotryma Glomeratum* (Ag), *Bolivina pacifica* (Bp), *Cassidulinoides parkeriana* (Cp), *Cornuspira involvens* (Ci), *Cibicidoides wuellerstorffi* (Cw), *Deuterammia grisea* (Dg), *Epistominella exigua* (Ee), *Eggerella minuta* (Em), *Fursenkoina riggi* (Fr), *Globocassidulina bitor* (Gb), *Globocassidulina crassa* (Gc), *Globocassidulina subglobosa* (Gs), *Globocassidulina* spp. (Gssp.), *Glomospira irregularis* (Gi), *Lepidoparatrochammina lepida* (Ll), *Leptohalysis catella* (Lc), *Loeblichopsis sabulosa* (Ls), *Pseudobolivina antarctica* (Pa), *Nonionella* spp. (Nssp.), *Millammina arenacea* (Ma), *Reussolina apiculata* (Ra), *Reophax scorpiurus* (Rs), *Reophax* spp. (Rssp.), *Spiroplectammina biformis* (Sb) e *Textularia wiesneri* (Tw) compostas pela PC1 e PC2 da Análise de Componentes Principais (ACP) das tanatocenoses das amostras coletadas na BA

6 DISCUSSÃO

6.1 Parâmetros físico-químicos e granulometria

Os sedimentos coletados durante 2016 e 2018 são majoritariamente siltico-argilosos, ocorrendo secundariamente silte-arenoso e areia siltosa. Todos esses resultados corroboram com estudos anteriores que relatam altas porcentagens de silte e argila em várias partes da Baía do Almirantado, sobretudo nas porções mais abrigadas (WEBER; MONTONE, 2006; SHAEFER et al., 2004; SICINSKI, 2004; SANTOS, 2007). Ainda segundo esses estudos, há indicação da presença de sedimentos arenosos notadamente na região central da baía e na entrada da enseada Martel, devido a um maior hidrodinamismo local. Segundo Weber e Montone (2006), a textura do sedimento da BA varia conforme a profundidade: areia muito fina em regiões mais rasas (6 a 11 m) e altos teores das frações de argila e silte, em direção às isóbatas de 20 e 60 m.

As frações arenosas encontradas em 2016 e 2018 apresentaram variação entre si, isso se deve à influência da erosão costeira e do degelo de icebergs, fazendo com que haja maior ou menor quantidade de sedimentos mais grossos. Em 2018, próximo à região de Hennequin foi encontrada areia média a grossa que, inclusive, impediu a validação de vários lançamentos do pegador Van veen modificado. O ponto Hennequin foi o único a apresentar maior fração de areia nas duas campanhas, resultado que é considerado comum em áreas que sofrem mais turbulência ou de substratos íngremes dentro da BA (SCHAEFER et al., 2004).

Os valores de Carbono orgânico total apresentam valores baixos (0,14 a 0,61% nas duas campanhas) e pode estar relacionado à matéria orgânica recente não aderida ao sedimento (WEBER; MONTONE, 2006).

A sedimentação e os materiais em suspensão são fatores contribuintes para a composição da fauna bentônica antártica e compreender essa relação é essencial para explicar a ecologia bentônica. O material mineral do fundo da baía é transportado por correntes glaciais oriundas da erosão das margens continentais e de pequenos icebergs de derretimento de geleiras (SICINSKI, 2004). Devido à natureza do substrato e ação do gelo, há impedimento do desenvolvimento de endofauna e da epifauna em áreas de águas rasas. Áreas rasas sofrem mais com os parâmetros físicos e mecânicos do gelo que influencia de forma temporal e espacial, dependendo do substrato, profundidade e latitude. Segundo Nonato (2000), as profundidades abaixo dos 25 m apresentam condições mais estáveis, o que possibilita a diversificação da epifauna.

6.2 Metais, Metalóides e Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HPAs)

Os valores de HPAs totais da campanha OPXXXV (2016) apresentam diferenças nas concentrações entre os pontos de coleta estudados. Os maiores valores ocorreram em frente aos tanques de combustíveis e ao heliponto da estação de pesquisa (Figura 5). Em relação aos valores de HPAs totais obtidos, todos estão abaixo dos limites propostos pela Lista Canadense (CCME - Canadian Ministers of the Environment), no qual valores inferiores a 1684 ng.g^{-1} dificilmente apresentam riscos adversos a biota.

Estudos anteriores realizados dentro da BA (YU et al., 1995; MARTINS et al, 2004) mostraram que os HPAs encontrados em sedimentos próximos a EACF estão relacionados a resíduos de combustão ou a óleos combustíveis que podem se acumular no sedimento. Segundo Yu (1995), os HPAs não alquilanos encontrados nas amostras coletadas dentro da BA são os mesmos encontrados na composição do principal combustível utilizados nas operações antárticas, o Diesel Full Arctic (DFA). O fato dos derivados de combustíveis fósseis identificados na BA serem relacionados à origem antropogênica é esperado uma vez que derivados de petróleo fazem parte das principais fontes de energia para funcionamento das estações de pesquisa ali instaladas.

Amostras de sedimentos coletadas próximos a EACF entre 1990 e 2004 mostraram valores baixos de HPAs quando comparadas a regiões mais urbanizadas, principalmente nos anos 2000 e 2002, mas semelhantes aos encontrados em sedimentos não poluídos (BÍCEGO; WEBER; ITO, 1996; BÍCEGO et al, 2002, 2009; MARTINS et al., 2004).

Os dados de HPAs totais da OPXXXVI (2018) mostraram um padrão diferente comparados com a campanha anterior. No geral, os valores são mais baixos nas amostras coletadas em 2016, principalmente nos pontos próximos a EACF. Porém no ponto amostral Refúgio II houve aumento expressivo, passando do menor valor da campanha de 2016 ($6,5 \text{ ng.g}^{-1}$) para o maior valor encontrado na campanha de 2018 (371 ng.g^{-1}). No local onde foi coletada essa amostra há um refúgio que serve como abrigo em períodos de fortes tempestades e que, após a perda da EACF em 2012 passou abrigar os pesquisadores durante o verão. Esse resultado e interpretação coadunam com o estudo de Weber e Montone (2006) que verificaram aumento das concentrações de HPAs relacionados à presença de pesquisadores no refúgio em 1990 e 1999.

Os pontos Mackellar 1 e 2 apresentaram valores idênticos (32 ng. g^{-1}). Já o ponto Mackellar 3 apresentou um valor mais alto (219 ng. g^{-1}) na isóbata de 60 m, esses pontos mesmo relativamente distantes da EACF são bem próximos às instalações da Refúgio 2 e à Estação de Pesquisas Machu Picchu, o que pode ter influenciado na introdução de HPAs no local. Outro fator natural que pode contribuir para a remobilização de HPAs na Enseada Mackellar deve-se ao hidrodinâmismo local, onde a circulação do canal é definida por uma alça de retorno em que as águas entram pela porção Oeste e saem pela porção Leste. Além disso, uma revisão profunda sobre HPAs no ambiente marinho realizado por Cripps e Priddle (1991) mostra que a variação na concentração de HPAs na região é dada pela complexa combinação de propriedades biológicas e físicas do oceano e que esses também podem ser derivados de diatomáceas.

Segundo Bicego et al (2009), estudos internacionais propuseram três níveis diferentes de contaminação em sedimentos por HPAs: 1) levemente contaminada (HPAs totais iguais a 250 ng.g^{-1} ; 2) muito contaminado com valores que variam entre 250 ng.g^{-1} e 500 ng.g^{-1} e 3) relativamente alta com valores $>500 \text{ ng.g}^{-1}$. Sendo assim, de acordo com essa análise temporal dos dados de HPAs na BA e comparando com os valores observados nas amostras coletadas em 2016 e 2018, infere-se que a área não pode ser considerada poluída.

Em um estudo levantado por Oliveira et al (2007) do qual foi realizada análise de HPAs em solos e sedimentos no entorno da EACF foram encontrados valores bem inferiores comparados a este trabalho, variando entre 0,05 a $3,84 \text{ ng.g}^{-1}$. Os maiores valores foram encontrados em frente aos tanques de combustíveis.

Tabela 16 – Comparação de teores de HPAs em sedimentos de diferentes regiões na Antártica.

Artigos	Região (PA)	Valores de HPAs totais em sedimentos
Cripps, Priddle (1991)	King Edward Cove, Antártica	$4.9 - 16.1^3 (\mu\text{g. Kg}^{-1})$
Martins et al (2004)	BA, Antártica	$<6.0 - 454.9 (\text{ng.g}^{-1})$
Oliveira et al (2007)	BA, Antártica	$0,05 \text{ a } 3,84 (\text{ng.g}^{-1})$
Bicego et al (2009)	BA, Antártica	$12 - 50 (\text{ng.g}^{-1})$
Curtosi et al (2009)	Potter Cove, Antártica	$37 - 252 (\text{ng.g}^{-1})$
Viana (2021)	BA, Antártica	$5,0 - 371,0 (\text{ng.g}^{-1})$

Ao que os estudos indicam, há uma contribuição das atividades humanas uma vez que os valores de hidrocarbonetos são representativos nas coletas próximos a EACF. Mesmo assim os valores se encontram baixos quando comparados aos parâmetros internacionais, e provavelmente isso se deve a mistura das águas de dentro da Baía que ajuda na dispersão desses compostos (BÍCEGO et al, 2003, 2009; CURTOSI et al, 2009). Sendo assim, estudos de biomonitoramento na região são importantes pois, mesmo que de forma branda ocorre a dispersão dos poluentes em áreas adjacentes a EACF. Isso pode ser observado nos valores de HPAs dos pontos coletados próximos a Enseada Mackellar ou na região da Ilha Dufayel, onde os valores de HPAs são baixos ou inexistentes reforçando a origem antropogênica dos compostos.

Os metais quantificados no presente estudo (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sc, Zn e Hg) apresentaram diferenças no padrão de distribuição dentro na BA. Os valores de Arsênio, Cobre e Níquel apresentaram valores médios de 10,6 e 77,2 $\mu\text{g.g}^{-1}$, compreendidos entre TEL e PEL. Os valores de As e Cu diminuíam de forma branda entre uma coleta e outra, mas apresentam valores altos nas amostras coletadas na enseada Mackellar. Já a quantidade de Ni não apresentou variação significativa de um ano para outro.

Os valores de Arsênio são mais altos nos pontos de coleta em frente aos tanques de combustíveis, ao H30 e ao RII. Já o ponto Botany apresentou o menor valor, abaixo dos valores de TEL. Estudo realizado com amostras pré-incêndio (TREVIZANI, 2016, 2019) mostrou biocumulação de As na biota da BA e altas concentrações de Cu e Zn nos sedimentos.

Já em um estudo mais recente realizado por Samanez-Sarmiento (2020) em 2019, valores de Cu e As na Enseada Mackellar encontram-se acima de PEL, e variaram entre 59,9 – 108 mg. Kg^{-1} para Cu e 10,09 – 15,2 mg. Kg^{-1} para As. No mesmo estudo valores de Zn variaram entre 48,7 mg. Kg^{-1} e 84,7 mg. Kg^{-1} .

De acordo com Ribeiro et al (2010) os níveis de As em perfis de sedimentos coletados na BA nos anos de 2006 e 2007 indicaram uma leve contribuição antropogênica e que os valores dependem do local de coleta, onde os maiores teores são encontrados próximos as estações de pesquisa brasileira e polonesa em períodos de intensa atividade humana (6,5 – 9,3 mg. Kg^{-1}). No mesmo estudo, o autor comparou os teores de As, Cu e Zn a valores de anos anteriores e apresentaram baixo nível de contaminação (RIBEIRO et al., 2010).

Os teores de Cu e Zn são muito altos comparados os valores de TEL, dados coletados em 2005 (SANTOS et al., 2005) que também apresentaram altos valores comparando aos teores da crosta terrestre. Mas, de acordo com o autor isso ocorre graças a mineralização de calcopirita das rochas vulcânicas da Ilha Rei George, ou seja, as altas concentrações estão associadas a níveis naturais desses elementos na BA. Estes são mais disponíveis em sedimentos arenosos e podem apresentar teores diferentes dependendo do tipo de sedimento da área coletada (WEBER; MONTONE, 2016).

Os teores de Cr nos sedimentos coletados estão abaixo dos valores de TEL. Sedimentos coletados em frente a EACF em anos anteriores apresentaram altos teores de Cu e Zn (em média 92 e 89 $\mu\text{g. g}^{-1}$) (SANTOS et al., 2005) e maior enriquecimento por Chumbo (Pb) comparadas às áreas de coleta adjacente à estação de pesquisa (CAMPOS et al., 2013). Os teores de chumbo na coleta de 2016 foram muito baixos e foi encontrado somente na amostra Ponta Ulmann. Nas coletas realizadas em 2018 foram detectados valores de Pb nos pontos amostrais da Enseada Mackellar, porém todos bem abaixo dos níveis internacionalmente estabelecidos, assim como valores de Pb no estudo de Samanez-Sarmiento (2020).

Outros estudos realizados na BA mostraram que altas concentrações de Cd, Cu, Pb e Zn podem trazer efeitos tóxicos à biota antártica (DUQUESNE et al, 2000; STARK; BANKS, 2003), afetando a composição/distribuição dos organismos nos sedimentos (MORRISEY; UNDERWOOD; HOWITT, 1996). Segundo Santos (2005) sedimentos com frações finas e enriquecidos com matéria orgânica como da EACF adsorve a maior parte dos metais diminuindo a biodisponibilidade e efeitos adversos a biota.

Para o elemento Selênio (Se) foi encontrado o mesmo valor de 3,2 $\mu\text{g. g}^{-1}$ no ponto Refúgio II nas duas campanhas, porém não há parâmetros internacionais de qualidade para esse elemento. Samanez-Sarmiento (2020) encontrou valores de Se entre 0,35 e 5,01 mg. Kg^{-1} em amostras coletas na Enseada Mackellar. O Selênio é um elemento que existe naturalmente no meio ambiente e essencial para alguns organismos, porém ao ultrapassar valores mínimos aos essenciais se torna altamente tóxico (SEIXAS, 2007a). A quantificação dos teores de Se em sedimentos se torna importante um vez que pode contaminar a cadeia alimentar e causar sérios danos à biota. A biodisponibilidade e toxicidade desse elemento depende da sua forma química e a qual fatores abióticos ele está sujeito. O Se é encontrado em sedimentos em sua forma orgânica em quantidades que variam entre 0,05 e 0,4 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e se torna altamente tóxico para organismos marinhos quando atinge teores superiores a 3,0 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Cerca de 90% do total de Se encontrado no

sistema aquático fica aderido ao sedimento e pode permanecer ali durante anos. As principais fontes antropogênicas de Selênio são: indústrias de refinis de metais, produção de equipamentos eletrônicos e vidro, efluentes de esgoto, fertilizantes e águas de drenagem (SEIXAS, 2007b). No que se refere ao ambiente Antártico, as águas de drenagem e esgoto podem vir a ser a principal fonte de Se na região.

Tabela 17- Comparação de teores de metais em sedimentos de estudos realizados em diferentes áreas na região Antártica.

Metais	a ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	b ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$)	c ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$)	d ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$)	e ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$)
As	6.3 - 16.4	4 - 5	2 - 12	10	100 - 15.2
Al	18,4 - 271,7	-	-	-	-
Cd	1.1 - 1.4	-	0.4 - 0.9	20	0.06 - 0.16
Cr	30 - 86	25 - 52	7 - 12	-	-
Cu	50 - 138.0	-	47 - 84	62.7	59.9 - 108
Sc	5.58 - 8.7	21 - 25	-	-	-
Fe	30.8 - 49.6	23 - 978	-	-	-
Ni	10.2 - 29	-	3 - 10	15	8.5 - 12.7
Pb	9 - 11.5	-	3 - 11	10	6.9 - 10.1
Se	3.2	-	4 - 7	-	0.35 - 5.01
Zn	50 - 86.4	87 - 134	44 - 89	62.5	48.7 - 67.6
Hg	-	-	-	--	-

Obs: Esse estudo ^a, Santos et al (2005) ^b, Ribeiro et al (2010) ^c, Trevizani et al (2016) ^d e Samanez-Sarmiento (2020) ^e.

Avaliar contaminação em sedimentos marinhos por metais não é uma tarefa fácil, uma vez que alguns desses elementos são encontrados naturalmente. Por isso, algumas ferramentas auxiliam nessa avaliação, como o Fator de Enriquecimento e o Índice de Geocumulação. A partir dos valores do fator de enriquecimento observa-se que os elementos metálicos e metaloides de quase todas as amostras não apresentam enriquecimento significativo em 2016. Com exceção das amostras próximas a EACF e ao RII que apresentam enriquecimento moderado de As e enriquecimento significativo de Al no ponto H60. O I_{geo} mostrou a mesma tendência para H60, enquadrando na classe 3, como moderadamente poluída a poluída.

Em contrapartida, as amostras coletadas em 2018 não apresentam enriquecimento significativos. As amostras coletadas próximas a enseada Mackellar (MK1, MK2 e MK3) chamam atenção por apresentar altas concentrações de metais (principalmente de Cu) e

enriquecimento moderado de As, Cu e Zn. O mesmo padrão foi apresentado pelo I_{geo} onde grande parte das amostras apresentam indícios de poluição e as amostras próximas da Enseada Mackellar se enquadram na classe 1, como moderadamente poluído. Esses valores estão de acordo com os dados de Sarmiento (2020) que encontrou valores de Cu e As entre TEL e PEL (lista Canadense) em várias amostras coletadas em 2019. O referido autor inferiu que os valores de Cu e As encontrados deveriam ser de origem crustal. Em 2018, valores de Cd foram encontrados acima do TEL, também nos pontos coletados na Ensenada Mackellar. Os valores absolutos de Fe nas duas campanhas estão acima do TEL com aumento significativo de um ano para outro nos pontos de coleta H60 e T60, e diminuiu na isobata 30m. Santos (2005) mostrou valores altos de Zn em sedimentos coletados a 20m de profundidade em frente a EACF e em áreas adjacentes.

Não foram detectados valores de Hg nas amostras coletadas na BA. Dados de mercúrio em sedimentos e na biota foram detectados no verão de 2003, porém os teores eram muitos baixos nos componentes abióticos, resultado esperado para áreas remotas (Santos et al., 2006). Segundo o autor, a formação de sulfeto na redução de sedimentos na região pode ser um fator resultante nos baixos teores de mercúrio.

De forma geral, as concentrações de metais e As encontradas na BA são baixas e fatores como biodisponibilidade, textura do sedimento, matéria orgânica e hipoxia afetam a biodisponibilidade dos elementos (WEBER; MONTONE, 2006). Porém, os índices de contaminação apontam que para alguns metais e locais com maior atividade humana há de moderada a significativa contribuição antropogênica. Torna-se fundamental o biomonitoramento de metais dentro da BA uma vez que muitos estudos indicam sensibilidade da biota antártica por esses contaminantes.

6.3 Dados de Foraminíferos

A estrutura da discussão dos resultados será apresentada por meio de uma comparação entre os anos de coleta (2016 e 2018). Nos quais serão apresentados primeiramente as biocenoses e em seguida de tanatocenoses, serão comparadas as variações temporais encontradas ou não no estudo.

6.3.1 Biocenoses 2016 x 2018

A composição de foraminíferos vivos mostrou algumas diferenças entre as amostras de 2016 e 2018. Há maiores quantidades de foraminíferos vivos nas coletas de 2016 (495 indivíduos) comparadas a de 2018 (312 indivíduos). A riqueza também variou de um ano para o outro, sendo observado maior número de espécies nas amostras de 2018.

Em todos os pontos de coleta realizados em 2018, há diminuição de foraminíferos vivos comparada a 2016, incluindo os pontos Hennequin que já apresentavam pouca quantidade de foraminíferos. Conforme discutido item 6.1, os pontos amostrais na ponta Hennequin apresentaram maiores contribuição da fração de areia no sedimento. Segundo Du Chatelet (2009) sedimentos com frações mais grossas apresentam menor diversidade e quantidade de espécies de foraminíferos.

Alguns fatores ambientais da região, naturalmente recorrentes, tornam a presença de algumas espécies inviáveis, como por exemplo, colapso de geleiras e icebergs que ocasionam a perturbação do fundo marinho em períodos do ano, o que pode explicar a diferença de abundância de foraminíferos de um ano para o outro (BARNES, 1999; RODRIGUES; BRAGA; EICHLER, 2015).

As amostras coletadas na enseada Mackellar apresentam baixa densidade e riqueza de espécies nos dois anos de coleta. Foram registradas maiores densidades e riqueza de espécies vivas na enseada Ezcurra, próximo a Ilha Dufayel e as mais baixas na entrada da enseada Mackellar e em um ponto específico em frente a EACF, corroborando com os dados encontrados por Rodrigues, Braga e Eichler (2015).

Em relação as espécies mais abundantes, a campanha do ano de 2018 apresentou maior riqueza, destacando-se: *Spiroplectamina biformis* e *Bolivinelina pacifica*. Entretanto as espécies que mais se destacam nos anos de 2016 e 2018 são *Deuterammmina grisea*, *Cassidulinoides parkeriana*, *Pseudobolivina antarctica* e espécies de *Globocassidulina*. Em geral, essas espécies apresentam maior abundância tanto na BA quanto em toda a região da PA, sendo consideradas espécies típicas de comunidades bentônicas na Antártica (MILAM; ANDERSON, 1981; THOMAS; GOODAY, 1996; GOODAY, 1996).

Nas entradas da BA (Martel, Mackellar e Ezcurra) as associações de foraminíferos com baixa diversidade de espécies são dominadas por *Globocassidulina* spp. juntamente com a *C. parkeriana* e *S. biformis*. Estas espécies são mais abundantes nas regiões mais internas das enseadas e são altamente influenciadas por congelamentos mais intensos,

aterramento de iceberg e injeções de água doce que resultam em grandes quantidades de material suspenso em comparação com o canal principal, tornando o ambiente instável com baixa diversidade de espécies. Sarmiento (2020) que encontrou predominância de *G. biora* em 42.6% das amostras da tanatocenose da enseada Mackellar. Já na biocenose, *Epistominella exigua* com 22,59% e *Bolivinelina pseudopunctata* com 22,22%, foram as espécies dominantes (Sarmiento, 2020).

Já na zona intermediária há abundância das espécies *C. parkeriana* e *P. antartica*; normalmente essas espécies não apresentam correlações bem definidas com fatores ambientais (MAJEWSKI, 2005; RODRIGUES, 2015, 2010).

As *Globocassidulina* spp. (e.g., *G. biora*, *G. subglobosa* e *G. crassa*) são encontradas em toda a Baía do Almirantado entre 8 e 520 m de profundidade com granulometria grossa e fina (ISHMAN; 1994, LI; YOON; PARK, 2000; MAJEWSKI; ANDERSON, 2009). A concentração de *G. biora* é favorecida em sedimentos anóxicos com baixa diversidade (H' entre 0,6 e 1,10), onde normalmente foraminíferos bentônicos de outras espécies dificilmente sobrevivem. Nestes ambientes, suas testas grandes e densas apresentam resistência à erosão mecânica, aspecto esse relacionado a ambientes de alta energia (LI; YOON; PARK, 2000; MAJEWSKI, 2005; MAJEWSKI; PAWLOWSKI, 2010).

Os índices ecológicos apresentam variação em relação a diversidade e distribuição de espécies. Os índices de Simpson (1-D) e Shannon-Wiener (H') mostram diminuição brusca da diversidade de espécies nos pontos próximos a EACF, principalmente na isóbata 30m e no ponto Botany. O inverso ocorreu nos demais pontos adjacentes à EACF, onde há aumento da diversidade. Também foram identificadas diferenças na distribuição de espécies, onde os valores de Equitatividade (E) mostram que no ano de 2018 as espécies estão distribuídas de forma mais uniforme quando comparadas aos resultados obtidos em 2016.

Em ambas as campanhas há maior quantidade de foraminíferos de carapaças calcária em relação aos aglutinantes. Isto ocorre porque os pontos amostrais estão posicionados acima da zona de compensação de carbonato (ZCC). De modo geral, há uma dominância de espécies calcárias na região antártica, pois a profundidade de compensação de carbonato é bem mais superficial no Oceano Antártico (MACKENSEN, 1990; MAJEWSKI, 2005; MAJEWSKI; PAWLOWSKI, 201; RODRIGUES; BRAGA; EICHLER, 2015).

Os grupos formados pelo dendograma a partir das espécies encontradas em cada estação são diferentes entre as campanhas. Os grupos não apresentam exatamente os mesmos locais de coleta. Todavia, percebe-se um padrão nos grupos formados entre amostras que apresentam 1) poucos foraminíferos, baixa diversidade e riqueza de espécies, porém bem distribuídas; 2) alta densidade, riqueza e diversidade de espécies bem distribuídas; 3) alta densidade, riqueza e diversidade, mas mal distribuídas e 4) baixa densidade e riqueza, alta diversidade de espécies distribuídas de forma uniforme.

As regiões próximas às entradas das enseadas apresentam baixa densidade de foraminíferos, porém são amostras ricas em espécies. Já nas regiões mais internas, próximas à EACF, onde foram encontrados altos valores de densidade de foraminíferos há dominância de algumas espécies, corroborando com os estudos que mostram formação de diferentes grupos dependendo da região da BA (MAJEWSKI, 2005; RODRIGUES; BRAGA; EICHLER, 2015).

Os dados morfométricos apresentam diferenças no tamanho das carapaças coletadas em 2018. Nas amostras de 2016 as carapaças de tamanho grande predominam em toda a BA. Já em 2018 há dominância de carapaças de tamanhos pequeno, principalmente na enseada Mackellar e nos pontos próximos à EACF. Alguns autores relacionam o tamanho das carapaças a fatores ambientais, no qual tamanhos pequenos podem indicar anoxia e antecipação da reprodução, e carapaças muito grandes podem indicar alta disponibilidade de matéria orgânica e consequentemente de alimento, bem com alto teor de oxigênio disponível (DULEBA et al., 2005; FRONTALINI; COCCIONI 2008; ALVE et al., 1991; YANKO, 1999).

Porém, esses dados precisam ser melhor interpretados, principalmente tratando-se de ambientes tão complexos como a Antártica com forte influência de fatores físicos na composição das espécies (BOLTOVOSKOY; SCOTT; MEDIOLI, 1991).

Os dados de ACP e ACC apresentam correlações parecidas para as amostras coletadas em 2016. Ambas mostraram relações entre os teores de metais As, Cr, Cu e Zn com as espécies *G. subglobosa* e *G. biora*. De fato, nos pontos amostrais onde há as maiores concentrações desses elementos, essas espécies são mais abundantes, principalmente em frente à EACF, na isóbata de 60 m e no ponto Refúgio 2. O gênero *Globocassidulina* é composto por espécies que sobrevivem a ambientes com fatores abióticos adversos, razão pela qual sua associação com os metais pode estar relacionada a disponibilidade de elementos no sedimento e/ou disponibilidade de nutrientes (MARTINS et al., 2016).

As análises estatísticas dos dados de 2018 evidenciam a importância de outros parâmetros. A correlação de Spearman relacionou os teores de lama aos de HPAs, a alguns metais como Fe, Zn e Sc e profundidade. De fato, os hidrocarbonetos são aderidos facilmente em partículas sólidas finas (WEBER; MONTONE, 2006) e na BA há grande contribuição das frações de lama nos sedimentos.

Os dados de ACP e ACC (2018) também apresentaram correlações semelhantes entre os teores de HPAs e lama com as espécies *G* spp. e *G. biora*. Como mostrado acima, as espécies de *Globocassidulina* são comumente encontradas em abundância na Baía do Almirantado. Não há na literatura relação direta entre as espécies e teores de hidrocarbonetos, porém alguns trabalhos que investigam os efeitos de poluentes, como HPAs, em foraminíferos mostram efeitos adversos apenas na estrutura da carapaça (ALVE et al., 1991).

Sabe-se que espécies com a *Globocassidulina subglobosa* obtém sucesso em ambientes com rápidas mudanças ambientais, pois seu ciclo reprodutivo é curto (RODRIGUES; EICHLER; EICHLER, 2013). *Globocassidulina* prefere ambientes próximos a geleiras. *G. biora* pode ser considerada uma espécie oportunista em ambientes instáveis de águas rasas, próximos a geleiras e com variações de salinidade e temperatura, devido ao degelo (RODRIGUES; EICHLER; EICHLER, 2013).

6.3.2 Tanatocenoses 2016 x 2018

O estudo não apresentou diferenças significativas na abundância de foraminíferos entre os anos de 2016 e 2018. Na campanha de 2016 as maiores abundâncias de tanatocenoses encontram-se nas regiões adjacentes a EACF (Botany e Ilha Dufayel). Já na campanha de 2018 encontrou-se mais foraminíferos nos pontos em frente a EACF e no Refúgio II.

Em relação a diversidade de espécies, na campanha de 2018 foram encontradas mais espécies de foraminíferos, aparecendo espécies porcelanosas e maior variedade de espécies aglutinantes comparadas à campanha de 2016. As espécies dominantes seguem o mesmo padrão das biocenoses, sendo *Deuteramina grisea*, *Cassidulinoídes parkeriana*, *Pseudobolivina antarctica*, e *Globocassidulina* spp. Como citado anteriormente, essas espécies são encontradas em outros trabalhos realizados na região na Península Antártica (ANDERSON, 1975, 1976).

Pode-se observar maiores abundâncias de espécies do tipo calcária. As carapaças de formas calcárias, incluindo algumas espécies de *Globocassidulina*, *Milliamina arenacea* e *Pseudobolivina antartica* têm preferência a certos ambientes nas regiões da baía (MAJEWSKI, 2010). Já a espécie *Deuterammia grisea*, dominante em algumas das amostras, é uma espécie oportunista e se adapta facilmente a variações de salinidade e temperatura (ANDERSON, 1976).

A diferença entre os índices ecológicos entre uma campanha e outra é pouco expressiva. As amostras de 2018 também são mais diversas, porém possuem menor riqueza e são distribuídas de forma menos uniforme. Essas poucas diferenças podem ocorrer por alguma instabilidade ambiental, seja por fatores climáticos na região ou mudanças sazonais.

Em relação à morfometria, predominam carapaças de tamanhos médios e grandes nos dois períodos estudados. Os resultados de ACP e ACC mostram que as espécies estão relacionadas a fatores abióticos como profundidade, textura do substrato e disponibilidade de CaCO_3 . Já os teores de metais e HPAs apresentaram relação positiva com espécies de *Globocassidulina* e *M. arenacea* que costuma ser uma espécie acessória.

As correlações de Sperman mostram correlações positivas parecidas nas coletadas nos anos de 2016 e 2018 entre algumas espécies e teores de metais: *M. arenacea* e *G. bitor* com teores de HPAs e lama; a espécie *G. subglobosa* com lama e valores totais de metais e profundidade com os metais Cu e Fe associados a espécies *E. minuta*. Essas espécies têm o hábito de vida oportunista e colonizam rapidamente ambientes que apresentam variações ambientais bruscas. A espécie *A. glomeratum* indica alta produtividade primária (fitodetritos) e bacteriana (MACKENSEN, 1990; ERNST; ZWAAN, 2004). Ponta Ulmann, onde foi detectado alto teor de chumbo há maior densidade de *A. glomeratum* comparada aos outros pontos de coleta. Os metais que apresentam relação com as espécies são associados a fontes antrópicas na região. Estudos feitos com fauna bentônica na BA mostram que alguns organismos são favorecidos pelos teores de metais na região e que as biodisponibilidades desses metais são afetadas pelo fluxo de matéria orgânica e água, textura do sedimento, hipóxia e presença de sulfetos (WEBER; MONTONE, 2006).

É difícil analisar a influência dos poluentes na fauna bentônica. Entretanto, as análises geoquímicas em conjunto com as análises faunísticas neste estudo mostraram padrões entre os poluentes analisados e as espécies encontradas. Apesar das espécies de foraminíferos serem comumente relatadas em outros estudos de levantamento de fauna

bentônica e associadas principalmente a eventos naturais ocorridos dentro da Baía do Almirantado, foi possível observar que influências antropogênicas podem ter relação com a colonização desses ambientes.

Os resultados das análises estatísticas mostraram por exemplo, forte relação com a abundância de espécies de foraminíferos consideradas oportunistas e resistentes nas regiões com altos teores de poluentes e ainda que, fatores como textura do sedimento e profundidade podem influenciar nesses resultados. Apesar dos pontos adjacentes a EACF apresentar diminuição ou estabilidade nos teores de poluentes, as áreas próximas a estação de pesquisa e aos refúgios necessitam atenção uma vez que houve um aumento considerável de As, Al, Cr, Fe, Zn e HPAs nessas regiões.

De modo geral, pode-se concluir que a região não está sendo diretamente afetada pela introdução de poluentes após o incêndio de 2012. Houve a diminuição dos valores de metais e metaloides e HPAs encontrados em 2016 e 2018 o que sugere que o escoamento superficial para enseada durante o verão não está carreando muitas substâncias tóxicas, provenientes do canteiro de obras da EACF. Contudo, ressalta-se a importância da continuidade dos estudos de monitoramento que vêm sendo realizados na BA, para serem estabelecidos padrões causa-efeito específicos para Antártica e não se apoiar em valores da legislação canadense ou norte-americana. O mesmo se aplica aos estudos de biomonitoramento. Muito ainda precisa ser estudado para ser entendido a complexa relação entre os poluentes e os foraminíferos de ecossistemas antárticos.

7 CONCLUSÕES

No presente estudo foram analisadas 21 amostras coletadas durante as campanhas OPERANTAR XXXV - 2016 e OPERANTAR XXXVI - 2018. No total, foram triadas 4.989 carapaças de foraminíferos e identificadas mais de 30 espécies aglutinantes e calcárias.

As amostras de sedimentos apresentaram predominância de silte-argila, devido ao baixo hidrodinamismo presente nos locais amostrados. Os valores de COT são baixos em todas as amostras, corroborando com demais estudos realizados na região e podem estar relacionados à matéria orgânica não aderida ao sedimento.

Os maiores valores de hidrocarbonetos e elementos metálicos e metaloides são nas regiões próximas a EACF; alguns desses valores estão entre TEL e PEL. Entretanto, ressalta-se que esses valores não indicam que essa região está impactada.

As espécies de foraminíferos identificadas no presente estudo são típicas da região da PA e comumente encontradas em toda a BA. As associações são compostas por espécies de carapaças mais robustas e que se adaptam facilmente em ambientes com condições ambientais menos estáveis.

As amostras de 2016 apresentam maior densidade, diversidade e riqueza de foraminíferos vivos, quando comparadas às amostras coletadas em 2018. Espécies de *Globocassidulina* são as mais abundantes e dominantes nas associações. Nos locais onde foram encontradas dominância dessas espécies havia baixa diversidade. Essas espécies oportunistas têm preferência por ambientes que apresentam rápidas mudanças ambientais, ou seja, florescem em regiões sujeitas à influência de gelo/degelo, onde outras espécies não sobreviveriam.

As análises estatísticas mostram relações positivas entre as espécies dominantes e teores de metais, metaloides e HPAs; a partir dessa análise pode-se perceber que apesar dos valores baixos de HPAs e Metais, e esses podendo ser de origem natural podem beneficiar ou não algumas espécies de foraminíferos bentônicos.

No geral, a BA apresenta inserção de contaminantes no meio ambiente, principalmente nas áreas ao redor da EACF. Porém, as concentrações desses contaminantes não são consideradas letais à biota. Entretanto, é cabível notar que esses contaminantes não ficam restritos somente às áreas muito próximas à EACF, mas foram observados perto dos refúgios. A partir dos resultados de foraminíferos foi possível fazer um levantamento temporal do incremento de substâncias de origem antropogênicas e

naturais na região e como a comunidades bentônica (Foraminíferos) responde a um processo tão complexo.

Dessa maneira, pode-se concluir que o presente estudo foi eficiente na caracterização ambiental de BA que os dados aqui apresentados podem ser utilizados como uma base de referência para estudos de ambientes instáveis que apresentam inserção de substâncias antropogênicas. Ademais, os resultados demonstram que foraminíferos são uma boa ferramenta para biomonitoramento na BA, mas, ressalta-se que essa análise deve ser feita comparando-se com diferentes dados abióticos e levando em consideração a região em contexto. Mesmo que os resultados aqui apresentados tenham demonstrado que não houve impacto ambiental significativo, ressalta-se a importância da continuidade de estudos de monitoramento. O Brasil como signatário do Sistema do Tratado da Antártica deve cumprir o compromisso de avaliar o impacto ambiental gerado por atividades humanas ao redor da EACF, preservar o ambiente Antártico e realizar pesquisas científicas de alto nível.

REFERÊNCIAS

- ABESSA, D. M. S.; SOUSA, E. C. P. M.; TOMMASI, L. R. Utilização de testes de toxicidade na avaliação da qualidade de sedimentos marinhos. **Revista de Geologia**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 253-261, 2006.
- ABRAHIM, G. M. S.; PARKER, R. J. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. **Environmental monitoring and assessment**, v. 136, n. 1-3, p. 227-238, 2008.
- ADL, S. M. et al. The new higher level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. **Journal of Eukaryotic Microbiology**, v. 52, n. 5, p. 399-451, 2005.
- ADL, S. M. et al. The revised classification of eukaryotes. **Journal of eukaryotic microbiology**, v. 59, n. 5, p. 429-514, 2012.
- AKIMOTO, K. et al. Distribution of recent benthic foraminiferal faunas in the Pacific off Southwest Japan and around Hachijojima Island. **The science reports of the Tohoku University. Second series, Geology**, v. 60, n. 2, p. 139-A28, 1990.
- ALVE, E. Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sorfjord, western Norway. **The Journal of Foraminiferal Research**, v. 21, n. 1, p. 1-19, 1991.
- ALVE, E. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 25, n. 3, p. 190-203, 1995.
- ALVE, E; OLSGARD, F. Benthic foraminiferal colonization in experiments with copper-contaminated sediments. **The Journal of Foraminiferal Research**, v. 29, n. 3, p. 186-195, 1999.
- ANDERSON, J. B. Factors controlling CaCO_3 dissolution in the Weddell Sea from foraminiferal distribution patterns. **Marine Geology**, v. 19, n. 5, p. 315-332, 1975.
- ANDERSON, J. B. Ecology and distribution of foraminifera in the Weddell Sea of Antarctica. **Micropaleontology**, p. 69-96, 1976.
- ANDERSON, O. R. Comparative protozoology: ecology, physiology, life history. **Springer-Verlag**. Heidelberg, 1988.
- ANDRADE, I. O. et al. O Brasil na Antártica: a importância científica e geopolítica do PROANTAR no entorno estratégico brasileiro. 2018. Texto para discussão. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 1990. ISSN 1415-4765.

Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8901>. Acesso em: 02 de maio, 2020.

ANTÁRTICA BASILEIRA, 2012. Disponível em: <http://antartidabrasileira.blogspot.com/>. Acesso em: 8 de setembro, 2020.

BALSAMO, M. et al. Meiofauna as a tool for marine ecosystem biomonitoring. In: **Marine ecosystems**, v. 4, p. 77-104, 2012.

BARNES, D. K. A. The influence of ice on polar nearshore benthos. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 79, n. 3, p. 401-407, 1999.

BERNHARD, J. M.; GUPTA, B. K. Sen. Foraminifera of oxygen-depleted environments. In: *Modern foraminifera*. Springer, Dordrecht, 1999. p. 201-216.

BEVILACQUA, J. E. et al. Extração seletiva de metais pesados em sedimentos de fundo do Rio Tietê, São Paulo. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 26-33, 2009.

BÍCEGO, M. C.; WEBER, R. R.; ITO, R. G. Aromatic hydrocarbons on surface waters of admiralty bay, King George Island, Antarctica. **Marine Pollution Bulletin**, v. 32, n. 7, p. 549-553, 1996.

BÍCEGO, M. C. et al. Natural levels of dissolved/dispersed petroleum hydrocarbons in the South West Atlantic. **Marine pollution bulletin**, v. 44, n. 10, p. 1166-1169, 2002.

BÍCEGO, M. C.; ZANARDI-LAMARDO, E.; WEBER, R. R. Four-year survey of dissolved/dispersed petroleum hydrocarbons on surface waters of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Revista brasileira de Oceanografia**, v. 51, n. UNICO, p. 33-38, 2003.

BÍCEGO, M. C. et al. Results from a 15-year study on hydrocarbon concentrations in water and sediment from Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 21, n. 3, p. 209-220, 2009.

BIRKENMAJER, K.; ZASTAWNIAK, E. Late Cretaceous-early Tertiary floras of King George Island, West Antarctica: their stratigraphic distribution and palaeoclimatic significance. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 47, n. 1, p. 227-240, 1989.

BOLTOVSKOY, E.; LENA, H. Seasonal occurrences, standing crop and production in benthic foraminifera of Puerto Deseado. **Cushman Foundation**, p.87, 1969.

BOLTOVSKOY, E.; GIUSSANI, G.; WATANABE, S.; WRIGHT, R. Atlas of benthic shelf foraminifera of southwest Atlantic. Boston-London, **Dr. W. Junk bv Publishers The Hague**, 131 p, 1980.

BOLTOVSKOY, E.; SCOTT, D. B; MEDIOLI, F. S. Morphological variations of benthic foraminiferal tests in response to changes in ecological parameters: a review. **Journal of Paleontology**, v. 65, n. 2, p. 175-185, 1991.

BONETTI, C. H. C; EICHLER, B. B; DEBENAY, J. Evolução temporal da impactação do Sistema estuarino de Santos - São Vicente (SP, Brasil) analisada através das populações de foraminíferos sub-recentes. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 28, n. 2, p. 273-283, 2001.

BRASIL. **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA)**. Resolução nº.454 de 1º de novembro de 2012, através da revogação das Resoluções nº 344 de 2004 e nº 421 de 2010. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. Seção 1, pág. 66. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>. Acesso em: 20 de abril, 2020.

BRAUN, M.; GOSSMANN, H. Glacial changes in the areas of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, maritime Antarctica. In: **Geoecology of Antarctic ice-free coastal landscapes**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 75-89, 2002

BRITO, T. (Ed.). O Brasil e o meio ambiente antártico. **Ministério do Meio Ambiente**, 2007.

BUCKLEY, D. E. et al. Canso Strait and Chedaducto Bay: a multidisciplinary study of the impact of man on the marine environment. **Geological Survey of Canada**. v. 1: p. 74-30/133-60, 1974.

BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, p. 465-473, 2003.

CALLISTO, M.; MORENO, P. Bioindicadores como ferramenta para o manejo, gestão e conservação ambiental In: SIMPÓSIO SUL DE GESTÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL, 2., 2006, Erechim. **Anais [...]. Erechim: URI-Campus de Erechim**, p. 322-333, 2006.

CAMPOS, L.S. et al. Environmental processes, biodiversity and changes in admiralty bay, king george island, antarctica. In: **Adaptation and Evolution in Marine Environments, Volume 2**. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 127-156, 2013.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (Canadá). Canadian environmental quality guidelines. **Canadian Council of Ministers of the Environment**, 2002.

CASEY, R. et al. A preliminary report on the microplankton and microbenthon responses to the 1979 gulf of Mexico oil spills (IXTOC I and Burmah Agate), with comments on avenues of oil to the sediments and the fate of oil in the column and on the bottom. **AAPG Bulletin**, v. 64, n.9: 1559, 1980.

COCCIONI, R. Benthic foraminifera as bioindicators of heavy metal pollution. In: **Environmental micropaleontology**. Springer, Boston, MA. p. 71-103, 2000.

SOUZA, Clayton de. Uma nova era de pesquisas na Antártica, **ISTOÉ**. São Paulo, 2019, n. 2566, 01 mar. 2019. Comportamento. Disponível em: <https://istoe.com.br/uma-nova-era-de-pesquisas-na-antartica/>. Acesso em 1 e novembro, 2020.

COLABUONO, F. Imperatrice et al. Persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons in mosses after fire at the Brazilian Antarctic Station. **Marine pollution bulletin**, v. 93, n. 1-2, p. 266-269, 2015.

CURTOSI, A. et al. Distribution of PAHs in the water column, sediments and biota of Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 21, n. 4, p. 329, 2009.

CRIPPS, G. C.; PRIDDLE, J. Hydrocarbons in the Antarctic marine environment. **Antarctic Science**, v. 3, n. 3, p. 233-250, 1991.

DAMAK, M. et al. Benthic foraminiferal assemblages as pollution proxies along the coastal fringe of the Monastir Bay (Tunisia). **Journal of African Earth Sciences**, v. 150, p. 379-388, 2019.

DIMASHKI, M; HARRAD, S; HARRISON, R. M. Measurements of nitro-PAH in the atmospheres of two cities. **Atmospheric Environment**, v. 34, n. 15, p. 2459-2469, 2000.

DU CHÂTELET et al. Sediment (grain size and clay mineralogy) and organic matter quality control on living benthic foraminifera. **Revue de micropaléontologie**, v. 52, n. 1, p. 75-84, 2009.

DUQUESNE, S. et al. Analysis of fire gases released from polyurethane and fire-retarded polyurethane coatings. **Journal of fire sciences**, v. 18, n. 6, p. 456-482, 2000.

DULEBA, W. et al. Foraminíferos, tecamebas e ostracodes recentes utilizados como bioindicadores em estudos ambientais brasileiros. In: C. R. G. Souza: et al. (eds). **Quaternário do Brasil**. ABEQUA. Editora: Holos. Ribeirão Preto, p. 176-210, 2005.

- DULEBA, W et al. Evaluation of contamination by potentially toxic elements (pte) of sediments around the petroleum terminal pipeline “dutos e terminais do centro sul (dtcs)”. **Journal of Sedimentary Environments**, v. 4, n. 4, p. 387-402, 2019.
- ELLISON, R. L.; BROOME, R.; OGILVIE, R. Foraminiferal response to trace metal contamination in the Patapsco River and Baltimore Harbour, Maryland. **Marine Pollution Bulletin**, v. 17, n. 9, p. 419-423, 1986.
- ELLIS, B. E.; MESSINA, A. R. **Catalogue of Foraminifera American Museum of Natural History**. 1940.
- ERNST, S; VAN DER ZWAAN, B. Effects of experimentally induced raised levels of organic flux and oxygen depletion on a continental slope benthic foraminiferal community. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 51, n. 11, p. 1709-1739, 2004.
- FATELA, F.; TABORDA, R. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. **Marine Micropaleontology**, v. 45, n. 2, p. 169-174, 2002.
- FERREIRA, F. R. G. O sistema do tratado da Antártica: evolução do regime e seu impacto na política externa brasileira - Brasília: **Fundação Alexandre de Gusmão**, p. 248, 2009.
- FERRADA, L.V. Five factors that will decide the future of Antarctica. **The Polar Journal**, v. 8, n. 1, p. 84-109, 2018.
- FOLK, R. L; WARD, W. C. Brazos River bar [Texas]; a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Research**, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.
- FÖRSTNER, U.; SALOMONS, W. Trace metal analysis on polluted sediments: Part I: Assessment of sources and intensities. **Environmental Technology**, v. 1, n. 11, p. 494-505, 1980.
- FRONTALINI, F.; COCCIONI, R. Benthic foraminifera for heavy metal pollution monitoring: a case study from the central Adriatic Sea coast of Italy. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 76, n. 2, p. 404-417, 2008.
- FRONTALINI, F; COCCIONI, R. Benthic foraminifera as bioindicators of pollution: a review of Italian research over the last three decades. **Revue de micropaléontologie**, v. 54, n. 2, p. 115-127, 2011.
- GESLIN, E. et al. Morphological abnormalities of foraminiferal tests in Brazilian environments: comparison between polluted and non-polluted areas. **Marine Micropaleontology**, v. 45, n. 2, p. 151-168, 2002.
- GLOCK, N et al. The role of benthic foraminifera in the benthic nitrogen cycle of the Peruvian oxygen minimum zone. **Biogeosciences (BG)**, v. 10, p. 4767-4783, 2013.

- GOODAY, A.J. Epifaunal and shallow infaunal foraminiferal communities at three abyssal NE Atlantic sites subject to differing phytodetritus input regimes. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 43, n. 9, p. 1395-1421, 1996
- GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. Editora: Artmed, Porto Alegre, p. 401, 2016.
- GUO, Y et al. Benthic foraminifera and its response to heavy metal pollution: A case study from Liaodong Bay, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 154, p. 111084, 2020.
- GUPTA, B. K. Sen. **Modern foraminifera**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- HAQ, B. U.; BOERSMA, A (Ed.). **Introduction to marine micropaleontology**. Elsevier, 1998.
- HARITASH, A. K.; KAUSHIK, C. P. Biodegradation aspects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. **Journal of hazardous materials**, v. 169, n. 1-3, p. 1-15, 2009.
- HARRIS, C M.; MEADOWS, J. Environmental management in Antarctica Instruments and institutions. **Marine Pollution Bulletin**, v. 25, n. 9-12, p. 239-249, 1992.
- ISHMAN, S. E.; DOMACK, E. W. Oceanographic controls on benthic foraminifers from the Bellingshausen margin of the Antarctic Peninsula. **Marine Micropaleontology**, v. 24, n. 2, p. 119-155, 1994.
- KEMP, A. L. W.; THOMAS, R. L. Impact of man's activities on the chemical composition in the sediments of Lakes Ontario, Erie and Huron. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 5, n. 4, p. 469-490, 1976.
- KENNICUTT, II, M. C. et al. Human contamination of the marine environment-Arthur Harbor and McMurdo Sound, Antarctica. **Environmental science & technology**, v. 29, n. 5, p. 1279-1287, 1995.
- KWON, H; CHOI, S. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils from a multi-industrial city, South Korea. **Science of the Total Environment**, v. 470, p. 1494-1501, 2014.
- LARSONNEUR, C; BOUYASSE, P; AUFFRET, J. P. The superficial sediments of the English Channel and its western approaches. **Sedimentology**, v. 29, n. 6, p. 851-864, 1982.
- LATIMER, J. S.; QUINN, J. G. Historical trends and current inputs of hydrophobic organic compounds in an urban estuary: the sedimentary record. **Environmental science & technology**, v. 30, n. 2, p. 623-633, 1996.

- LEE, J. J and ANDERSON O.R. (eds). **Biology of foraminifera**, academic press. London. 1998.
- LEORRI, E; HORTON, B. P.; CEARRETA, A. Development of a foraminifera-based transfer function in the Basque marshes, N. Spain: implications for sea-level studies in the Bay of Biscay. **Marine Geology**, v. 251, n. 1-2, p. 60-74, 2008.
- LEONARDO, R.D et al. Possible impacts of Hg and PAH contamination on benthic foraminiferal assemblages: an example from the Sicilian coast, central Mediterranean. **Science of the Total Environment**, v. 388, n. 1-3, p. 168-183, 2007.
- LI, B; YOON, H. L. L; PARK, B. K. Foraminiferal assemblages and CaCO₃ dissolution since the last deglaciation in the Maxwell Bay, King George Island, Antarctica. **Marine Geology**, v. 169, n. 1-2, p. 239-257, 2000.
- LIMA, E. A. M. Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognóstico geoquímico ambiental da zona estuarina do rio Botafogo. Pernambuco, 2008. **Tese (Doutorado em Geociências)** – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.
- LIU, Wenxin et al. The application of preliminary sediment quality criteria to metal contamination in the Le An River. **Environmental Pollution**, v. 105, n. 3, p. 355-366, 1999.
- LIU, Q. T et al. Accumulation of metals, trace elements and semi-volatile organic compounds on exterior window surfaces in Baltimore. **Environmental Pollution**, v. 122, n. 1, p. 51-61, 2003.
- LOEBLICH, A. R.; TAPPAN, H. Protista 2. In: **Treatise on Invertebrate Paleontology**. Geol. Soc. Am. and Univ. Kansas Press Lawrence, Kans, p. 1-900, 1964.
- LOEBLICH, A. R.; TAPPAN, H. Some new and redefined genera and families of agglutinated foraminifera; I. **The Journal of Foraminiferal Research**, v. 15, n. 2, p. 91-104, 1985.
- LOEBLICH, A. R.; TAPPAN, H. **Foraminiferal genera and their classification**. New York, Van Nostrand, v.1, 970 p., v.2, 847 plates, 1988.
- LOSKA, K. et al. Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik water reservoir in Poland. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 93, n. 1-4, p. 347-365, 1997.
- LOCKLIN, J. A; MADDOCKS, R. F. Recent foraminifera around petroleum production platforms on the southwest Louisiana shelf. 1982.

MACKENSEN, A. et al. Benthic foraminiferal assemblages from the eastern Weddell Sea between 68 and 73 S: distribution, ecology and fossilization potential. **Marine micropaleontology**, v. 16, n. 3-4, p. 241-283, 1990.

MARINHA DO BRASIL (Brasil). **Monitoramento ambiental da área de influência direta da Estação Antártica Comandante Ferraz (MonitorAntar)**. XXXIX RAPAI DI-20, 2018. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/rapal-documentos>. Acesso em 22 de setembro, 2020.

MARINHA DO BRASIL (Brasil). **Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF)**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/proantar/eacf..> Acesso em: 20 de junho de 2020. Acesso em 15 de setembro, 2020.

MARINHA DO BRASIL (Brasil). **Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF)**. Disponível em: <https://www.mar.mil.br/estacao-antartica/>. Acesso em: 20 de junho de 2020.

MCCRONE, A. W.; SCHAFER, C. Geochemical and sedimentary environments of foraminifera in the Hudson River estuary, New York. **Micropaleontology**, v. 12, n. 4, p. 505-509, 1966.

MCLAREN, P; BOWLES, D. The effects of sediment transport on grain-size distributions. **Journal of Sedimentary Research**, v. 55, n. 4, p. 457-470, 1985.

MAJER, A. P. et al. Bioaccumulation of potentially toxic trace elements in benthic organisms of Admiralty Bay (King George Island, Antarctica). **Marine pollution bulletin**, v. 79, n. 1-2, p. 321-325, 2014.

MAJEWSKI, W. Benthic foraminiferal communities: distribution and ecology in Admiralty Bay, King George Island, west Antarctica. **Polish Polar Research**, vol. 26, n. 3, p. 159–214, 2005.

MAJEWSKI, W; ANDERSON, J.B. Holocene foraminiferal assemblages from Firth of Tay, Antarctic Peninsula: paleoclimate implications. **Marine Micropaleontology**, v. 73, n. 3-4, p. 135-147, 2009.

MAJEWSKI, W; PAWLOWSKI, J. Morphologic and molecular diversity of the foraminiferal genus Globocassidulina in Admiralty Bay, King George Island. **Antarctic Science**, v. 22, n. 3, p. 271-281, 2010.

MARTINS, C. C et al. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 16, n. 2, p. 117-122, 2004

- MARTINS, M. V. A. et al. Assessment of the health quality of Ria de Aveiro (Portugal): heavy metals and benthic foraminifera. **Marine pollution bulletin**, v. 70, n. 1-2, p. 18-33, 2013.
- MARTINS, M. V. A et al. Organic matter quantity and quality, metals availability and foraminiferal assemblages as environmental proxy applied to the Bizerte Lagoon (Tunisia). **Marine pollution bulletin**, v. 105, n. 1, p. 161-179, 2016.
- MARTINS, M.V.A et al. Heterogeneity of environments in a coastal lagoon mouth by the comparison between living and dead benthic foraminiferal assemblages (Rio de Aveiro Portugal). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 213, p. 199-216, 2018.
- MEYER-REIL, L.A. Measurement of hydrolytic activity and incorporation of dissolved organic substrates by microorganisms in marine sediments. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 31, p. 143-149, 1986.
- MCLAREN, P; BOWLES, D. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Research*, v. 55, n. 4, p. 457-470, 1985.
- MCLAREN, P; BOWLES, D. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Research*, v. 55, n. 4, p. 457-470, 1985.
- MILAM, R. W.; ANDERSOM, J. B. Distribution and Ecology of Recent Benthonic Foraminifera of the Adelie-George-V Continental-Shelf and Slope, Antarctica. **Marine Micropaleontology**, v. 6, n. 3, p. 297-325, 1981.
- MORAES, R. et al. Efeitos de poluentes em organismos marinhos. São Paulo: **Arte & Ciência Villipress**, 2001.
- MORRISSEY, D. J.; UNDERWOOD, A. J.; HOWITT, L. Effects of copper on the faunas of marine soft-sediments: an experimental field study. **Marine Biology**, v. 125, n. 1, p. 199-213, 1996.
- MOZETO A. P.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM W. F. Métodos de Coleta, análises físico-químicas e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce. Editora: Cubo Multimídia. São Carlos, 224 p, 2006.
- MULLER, G. Schwermetalle in den sediments des Rheins-Veränderungen seitt 1971. *Umschau*, 79, 778 - 783, 1979.
- MURRAY, J. W.; PUDSEY, C. J. Living (stained) and dead foraminifera from the newly ice-free Larsen Ice Shelf, Weddell Sea, Antarctica: ecology and taphonomy. *Marine Micropaleontology*, v. 53, n. 1-2, p. 67-81, 2004.
- MURRAY, J. W. Ecology and applications of benthic foraminifera. Ed: **Cambridge University Press**, 440.p, 2006.

- MURRAY, J. W. Recent Foraminifera from the North Sea (Forties and Ekofisk areas) and the continental shelf west of Scotland. **Journal of Micropalaeontology**, v. 4, n. 2, p. 117-125, 1985.
- NOAA, 2006. Sediment Quality Guidelines Through its National Status and Trends (NS&T) Program. Miami, National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA. Site: archive.orr.noaa.gov/cpr/sediment/SQGs.html. Acesso em: 20 de junho, 2020.
- NONATO, E. F et al. Benthic megafauna of the nearshore zone of Martel Inlet (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica): depth zonation and underwater observations. **Polar Biology**, v. 23, n. 8, p. 580-588, 2000.
- OLIVEIRA, R.C.B; MARINS, R.V. Dinâmica de metais-traço em solo e ambiente sedimentar estuarino como um fator determinante no aporte desses contaminantes para o ambiente aquático: Revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 3, n. 2, p. 88-102, 2011.
- OLIVEIRA, L. M. et al. Hidrocarbonetos em solos e sedimentos do entorno da estação antártica brasileira comandante feraz. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 1, p. 144-156, 2007.
- PAWLOWSKI, J. et al. The evolution of early Foraminifera. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 20, p. 11494-11498, 2003.
- PAWLOWSKI, J; HOLZMANN, M; TYSZKA, J. New supraordinal classification of Foraminifera: Molecules meet morphology. **Marine Micropaleontology**, v. 100, p. 1-10, 2013.
- PAWLOWSKI, J. et al. Benthic monitoring of salmon farms in Norway using foraminiferal metabarcoding. **Aquaculture Environment Interactions**, v. 8, p. 371-386, 2016.
- PRUSZAK, Z. Currents circulation in the waters of Admiralty Bay (region of Arctowski Station on King George Island). **Polish Polar Research**, v. 1, n. 1, p. 55-74, 1980.
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S (1996). King George Island – South Shetland Islands, Maritime Antarctic In: **Geoecology of Antarctic ice-free coastal landscapes**. Springer, Berlin, Heidelberg. p. 27-39, 2002.
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S.; ZIELINSKI, K. (ed.). Macrophytobenthos. In: The maritime Antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay. **Department of Antarctic of Sciences**. Warsaw. 57-60, 1993.
- RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Environmental conditions and the functioning of Admiralty Bay (South Shetland Islands). **Polish Polar Research**, p. 11-27, 1980.

- RAY, A. K. et al. Assessment of Godavari estuarine mangrove ecosystem through trace metal studies. **Environment International**, v. 32, n. 2, p. 219-223, 2006.
- RIBEIRO, A. P. et al. Arsenic, copper and Zinc in marine sediment from the proximity of the Brazilian antarctic base, admiralty bay, king George Island, Antartica. **Annual Activity Report - INCT/APA**, Rio de Janeiro, p. 137-139, 2010.
- ROBAKIEWICZ, M; RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Application of 3D circulation model to Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Polish Polar Research**, v. 20, n. 1, p. 43-58, 1999.
- RODRIGUES, A. R et al. Recent benthic foraminiferal distribution and related environmental factors in Ezcurra Inlet, King George Island, Antarctica. **Antarctic Science**, v. 22, n. 4, p. 343-360, 2010.
- RODRIGUES, A.R; EICHLER, P. P. B; EICHLER, B. B. Foraminifera in two inlets fed by a tidewater glacier, King George Island, Antarctic Peninsula. **The Journal of Foraminiferal Research**, v. 43, n. 3, p. 209-220, 2013.
- RODRIGUES, A. R; BRAGA, E. B; EICHLER, B. B. Living foraminifera in the shallow waters of Admiralty Bay: distributions and environmental factors. **The Journal of Foraminiferal Research**, v. 45, n. 2, p. 128-145, 2015.
- RODRIGUES, A. R; OLIVEIRA, K S. S; EICHLER, P. P. B. Living benthic foraminiferal assemblages monitored monthly in a tide-dominated estuary, Bertioga Channel, Brazil. **Journal of Sedimentary Environments**, p. 1-19, 2020.
- ROS, M.T.L et al. Assessing the Cadmium Effects on the Benthic Foraminifer *Ammonia cf. parkinsoniana*: An Acute Toxicity Test. **Water**, v. 12, n. 4, p. 1018, 2020.
- SAMANEZ SARMIENTO, J. A. Avaliação ambiental da enseada MacKellar, ilha Rei George, Antártica, por meio de indicadores biológicos (foraminíferos) e sedimentológicos. São Paulo, 2020. **Dissertação (Mestrado em Ciências)** – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.
- SANTOS, I. R. et al. Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. **Marine pollution bulletin**, v. 50, n. 2, p. 185-194, 2005.
- SANTOS, I. R et al. Baseline mercury and zinc concentrations in terrestrial and coastal organisms of Admiralty Bay, Antarctica. **Environmental Pollution**, v. 140, n. 2, p. 304-311, 2006.

- SANTOS, I. R. et al. Sediment geochemistry in coastal maritime Antarctica (Admiralty Bay, King George Island): evidence from rare earths and other elements. **Marine Chemistry**, v. 107, n. 4, p. 464-474, 2007.
- SCHAEFER, C. E. et al. Ecossistemas costeiros e monitoramento ambiental da Antártica Marítima. Baía do Almirantado, Ilha Rei George. **Viçosa: NEPUT. pp**, p. 47-58, 2004.
- SCHRODER-ADAMS, C; SCOTT, D. B.; MEDIOLI, F. S. Can smaller benthic foraminifera be ignored in paleoenvironmental analyses? **Journal of foraminiferal Research**, v. 17, n. 2, p. 101-105, 1987.
- SCOTT, D. B., MEDIOLI, F.S., SCHAFFER, C. T. Monitoring in Coastal Environments using Foraminifera and Thecamoebian Indicators. Cambridge, **Cambridge University Press**, 177 p., 2001.
- SETTY, M. G A. P; NIGAM, R. Benthic foraminifera as pollution indices in the marine environment of west coast of India. **Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia**, v. 89, n. 3, 1984.
- SCHWING, P. T. et al. A decline in benthic foraminifera following the Deepwater Horizon event in the northeastern Gulf of Mexico. **PLoS One**, v. 10, n. 3, p. e0120565, 2015.
- SUTILLI, M. et al. Depositional input of hydrocarbons recorded in sedimentary cores from Deception and Penguin Islands (South Shetland Archipelago, Antarctica). **Environmental Pollution**, v. 253, p. 981-991, 2019.
- SEIXAS, T. G.; DO A KEHRIG, H. O selênio no meio ambiente. **Oecologia Brasiliensis**, v. 11, n. 2, p. 264-276, 2007a.
- SEIXAS, T. G. et al. Distribuição de selênio em organismos marinhos da Baía de Guanabara/RJ. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 554-559, 2007b.
- SHARIFI, A. R; CROUDACE, I. W.; AUSTIN, R. L. Benthic foraminiferids as pollution indicators in Southampton Water, southern England, UK. **Journal of Micropalaeontology**, v. 10, n. 1, p. 109-113, 1991.
- SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of sedimentary Research**, v. 24, n. 3, p. 151-158, 1954.
- SHIRANI, M. et al. Pollution and contamination assessment of heavy metals in the sediments of Jazmurian playa in southeast iran. *Scientific reports*, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.
- SICIŃSKI, J. Polychaetes of Antarctic sublittoral in the proglacial zone (King George Island, South Shetland Islands). **Polish Polar Research**, v. 25, n. 1, p. 67-96, 2004.

- SUTHERLAND, R. A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. **Environmental geology**, v. 39, n. 6, p. 611-627, 2000.
- STARK, J.D.; BANKS, J. E. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. **Annual review of entomology**, v. 48, n. 1, p. 505-519, 2003.
- STEIN, R. Accumulation of organic carbon in marine sediments. **Lecture Note Earth Sci**, v.34, p.1 – 78, 1991.
- SZEFER, P. Distribution and behaviour of selected heavy metals and other elements in various components of the southern Baltic ecosystem. **Applied geochemistry**, v. 13, n. 3, p. 287-292, 1998.
- STUBBLES, S. Recent benthic Foraminifera as indicators of pollution in Restronguet Creek, Cornwall. **Proceedings-USSHER Society**, v. 8, p. 200-200, 1993.
- SZAFRANSKI, Z.; LIPSKI, M. Characteristics of water temperature and salinity at Admiralty Bay (King George Island, South Shetland Islands Antarctic) during the austral summer 1978/1979. **Polish Polar Research**, v. 3, n. 1-2, 1982.
- SZOPIŃSKA, M.; NAMIEŚNIK, J.; POLKOWSKA, Ż. How important is research on pollution levels in Antarctica? Historical approach, difficulties and current trends. In: **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, Volume 239. Springer, Cham, 2016. p. 79-156.
- TIN, T. et al. Impacts of local human activities on the Antarctic environment. **Antarctic Science**, v. 21, n. 1, p. 3-33, 2009.
- THOMAS, E.; GOODAY, A. J. Cenozoic deep-sea benthic foraminifers: Tracers for changes in oceanic productivity? **Geology**, v. 24, n. 4, p. 355-358, 1996.
- TREVIZANI, T.H et al. Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms and sediments from Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. **Marine pollution bulletin**, v. 106, n. 1-2, p. 366-371, 2016.
- TREVIZANI, T. H et al. Heavy metal concentrations in the benthic trophic web of Martel Inlet, Admiralty Bay (King George Island, Antarctica). **Marine pollution bulletin**, v. 130, p. 198-205, 2018.
- TURNER, A.; MILLWARD, G. E. Suspended particles: their role in estuarine biogeochemical cycles. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 55, n. 6, p. 857-883, 2002.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 1996. Method 3050B. Acid digestion on sediments, sludges and soil. Revision 2. December.

- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2007. Method 6010c. Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. Revision 3. February.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2007. Method 7471b. Mercury in solid or semisolid waste (Manual Cold-Vapor Technique). Revision 2. February.
- VAN GREN, A.; LUOMA, S. N. Trace metals (Cd, Cu, Ni, and Zn) and nutrients in coastal waters adjacent to San Francisco Bay, California. **Estuaries**, v. 16, n. 3, p. 559-566, 1993.
- VÉNEC-PEYRÉ, M.T. Les foraminifères et la pollution: étude de la microfaune de la cale du Dourduff (embouchure de la rivière de Morlaix). **Cahiers de Biologie Marine**, v. 22, p. 25-33, 1981.
- VIEIRA, F. B. O tratado da Antártica: perspectivas territorialista e internacionalista. **Cadernos PROLAM/USP**, ano, v. 5, p. 49-82, 2006.
- VILELA, C. G.; ORIOLI FIGUEIRA, B.; BATISTA NETO, J. A. Ecology and paleoecology in Ecology and paleoecology in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, during the last 6000 years based in benthic foraminifera assemblage variations. **Paleontologia: cenários de vida**, Editora: Interciência, 1466 p, 2007.
- WALTON, W. R. Techniques for recognition of living foraminifera. **Cushman Found. Foram. Res. Contr.**, v. 3, n. 2, p. 56-60, 1952.
- WALTON, W. R. Recent foraminifera ecology and paleoecology, in Approaches to Paleoecology. **John Wiley and Sons**; New York, First Ed. p.151-237, 1964.
- WEBER, R. R.; MONTONE, R. C. Gerenciamento ambiental na Baía do Almirantado, Ilha rei George, Antártica. **CNPq-PROANTAR: Rede**, v. 2, p. 255p, 2006.
- WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **The journal of geology**, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.
- WILSON, G. P. Antarctica, the Southern Ocean, and the Law of the Sea. **JAG J.**, v. 30, p. 47, 1978.
- YANKO, V.; KRONFELD, J.; FLEXER, A. Response of benthic Foraminifera to various pollution sources; implications for pollution monitoring. **The Journal of Foraminiferal Research**, v. 24, n. 1, p. 1-17, 1994.
- YANKO, V.; ARNOLD, A. J.; PARKER, W. C. Effects of marine pollution on benthic foraminifera. In: **Modern foraminifera**. Springer, Dordrecht. p. 217-235, 1999.
- YU, Y. et al. Gas chromatographic-mass spectrometric analysis of polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites in Antarctic fish (*Notothenia gibberifrons*) injected with Diesel

Fuel Arctic. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 29, n. 2, p. 241-246, 1995.

ZHUANG, W; GAO, X. Integrated assessment of heavy metal pollution in the surface sediments of the Laizhou Bay and the coastal waters of the Zhangzi Island, China: comparison among typical marine sediment quality indices. **PloS one**, v. 9, n. 4, p. e94145, 2014.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Micrografias das principais espécies de foraminíferos encontradas na Baía do Almirantado – Ilha Rei George.

Prancha 1.

Prancha 1 - 1-2. *Spiroplectammina biformis* (90 - 100 μm), 3-4. *Pseudobolivina antarctica*, 5-6. *Egerella minuta* (40 - 50 μm), 7- *Leptohalysis catella* (40 μm - juvenil), 8. *Lagenammina* spp. (100 μm), 9. *Reophax* spp. (400 μm), 10-11 *Adercotryma glomerata* (50 - 40 μm), 12. *Psammosphaera fusca* (200 μm), 13-14. *Deuterammina grisea* (100 μm), 15-16. *Glomospira irregularis* (70 e 60 μm).

Prancha 2.

Prancha 2- 1-2. *Milliamina arenacea* (60 μm) 3-4. *Bolivinella pacifica* (60 – 80 μm) 5-6. *Fursenkoina riggi* (100 μm), 7-8. *Loeblichopsis sabulosa* (70 – 300 μm), 9-10. *Cassidulinoides parkeriana* (60 - 70 μm), *Reophax fusiformis* (200 μm), 12-14 *Cibicidoides wuellerstorffi* (200 – 100 - 50 μm), 15-16. *Lepdoparatrochammina lepida* (90 – 70 μm).

Prancha 3.

Prancha 3: 1-2 *Reussoolina apiculata* (100 – 200 μm), 3-4 *Globocassidulina subglobosa* (60 μm), 5-9. *Globocassidulina bora* (90 - 200 - 100 μm) 10-11. *Globocassidulina crassa* (100 μm), 12 – *Globocassidulina* spp. (100 μm) 13-14. *Epistominella exigua* (30 – 50 μm).

APÊNDICE B - Distribuição de espécies da biocenose e tanatocenose em cada ponto de coleta realizadas na Baía do Almirantado - Ilha Rei George durante a campanha OPERANTAR XXXV (2016) tal como dados abióticos, densidade, quantidade de sedimento triado (alíquota em cm³), índices de Simpson (1-D), Shannon-Wiener (H'), Equitatividade (E) e tipo de carapaça de cada espécie (calcária - C e aglutinante - A).

OPERANTAR XXXV	C/A	Botany		Ilha Dufayel		Hennequin		Ponta Ullman		Refúgio II		EACF 30 Heliponto		EACF 30 Tanques		EACF 60 Heliponto		EACF 60 Tanques	
Profundidade (m)		26		30		25		34		35		32,7		30		48,5		47,6	
Tatocenose/Biocenose		T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B
Densidade		330	58	310	123	5	11	243	165	189	277	189	32	80	62	173	101	216	198
Alíquota (cm ³)		100		30		100		40		50		100		100		50		40	
S		16	9	14	13	2	4	19	16	8	9	16	6	11	10	15	16	20	15
1-D		0,61	0,70	0,80	0,78	0,48	0,45	0,81	0,61	0,73	0,72	0,86	0,75	0,83	0,79	0,87	0,86	0,89	0,66
H'		1,50	1,56	1,96	1,95	0,67	0,89	2,08	1,60	1,45	1,42	2,23	1,53	2,03	1,83	2,29	2,28	2,54	1,57
E		0,54	0,71	0,74	0,76	0,97	0,64	0,70	0,58	0,70	0,64	0,80	0,86	0,85	0,79	0,85	0,82	0,85	0,58
<i>Adercotryma Glomeratum</i>	A	*	*	6	*	*	*	10	2	*	*	*	*	*	*	4	2	3	2
<i>Bolivinella pacifica</i>	C	2	*	18	15	*	*	5	8	*	*	*	*	*	1	5	2	20	7
<i>Cassidulinoides parkeriana</i>	C	11	6	117	51	*	*	3	3		*	7	2	5	1	*	7	8	8
<i>Cibicidoides wuellerstorffi</i>	A	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	*	*	*	*	*	1	2
<i>Cornuspira involvens</i>	C	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Cribostomoides jeffreysii</i>	A	1	1	*	*	*	*	1	*	*	*	1	*	3	*	2	*	1	*
<i>Deuterammina grisea</i>	A	4	1	58	15	2	8	43	9	3	6	45	*	18	7	38	30	13	6
<i>Deuterammina glabra</i>	A	2	*	1	*	*	*	*	*	*	*	3	*	*	*	*	1	*	1
<i>Eggerella minuta</i>	A	*	*	*	1	*	*	9	1	1	1	*	1	2	*	13	6	8	1
<i>Epistominella exigua</i>	A	1	*	9	8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	1	*	12

<i>Fursenkoina riggi</i>	C	26	*	14	5	*	1	8	*	*	1	2	*	4	*	6	2	12	1
<i>Globocassidulina biora</i>	C	27	7	*	*	*	*	1	*	66	55	31	7	6	23	24	10	44	42
<i>Globocassidulina crassa</i>	C	25	*	*	*	*	*	2	*	1	2	8	*	2	2	2	1	22	2
<i>Globocassidulina subglobosa</i>	C	18	29	3	*	*	*	6	14	2	69	3	10	1	13	17	10	36	106
<i>Globocassidulina</i> spp.	C	201	9	20	9	3	*	14	10	51	61	36	13	22	7	15	10	9	*
<i>Glomospira irregularis</i>	A	*	*	*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3	*
<i>Jaculela obtusa</i>	A	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Lagenammina</i> ssp.	A	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Lepdoparatrochammina lepida</i>	A	1	*	9	5	*	1	*	2	*	*	4	*	*	2	1	1	*	*
<i>Leptohalysis catella</i>	A	*	*	*	*	*	*	2	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Loeblichopsis sabulosa</i>	A	2	*	*	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
<i>Milliamina arenacea</i>	C	*	*	*	*	*	*	1	*	49	6	14	*	*	*	9	*	6	*
<i>Nonionella</i> spp.	C	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	5	*	*	*	5	*
<i>Pseudobolivina antartica</i>	A	2	3	31	6	*	*	86	100	*	*	*	*	*	4	7	12	9	6
<i>Psammosphaera fusca</i>	A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	5	*	*	*	*	*	2	*
<i>Reophax testaceus</i>	A	*	*	*	*	*	*	3	4	*	*	2	*	*	*	*	3	1	1
<i>Reusoolina apiculata</i>	C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	29	*	*	*
<i>Reophax fusiformis</i>	A	*	*	*	*	*	*	7	3	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*
<i>Reophax</i> spp.	A	*	*	1	*	*	*	*	1	*	*	2	*	*	*	*	*	*	*
<i>Spiroplectammina biformis</i>	A	6	1	22	1	*	*	40	2	16	1	20	4	12	2	*	3	9	*
<i>Textularia wiesneri</i>	A	*	*	*	*	*	1	*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

N.I (não identificado)

* 1 * * * * * 2 * * * * * * * *

APÊNDICE C – Espécies raras encontradas nas amostras coletadas na Baía do Almirantado – Ilha Rei George durante a campanha OPERANTAR XXXV (2016) que apresentaram frequência relativa <3% e retiradas das análises estatísticas.

Espécies Raras - OPXXXV	
Tanatocenose	Biocenose
<i>Deuterammia glabra</i>	<i>Adercotryma glomerata</i>
<i>Glomospira irregularis</i>	<i>Cibicidoides wuellerstorffi</i>
<i>Epistominella exigua</i>	<i>Cornuspira involvens</i>
<i>Jaculella obtusa</i>	<i>Cribostomoides jeffreysii</i>
<i>Lagenammia</i> spp.	<i>Deuterammia glabra</i>
<i>Lepdoparatrochammia lepida</i>	<i>Leptohalysis catella</i>
<i>Leptohalysis catella</i>	<i>Loeblichopsis sabulosa</i>
<i>Loeblichopsis sabulosa</i>	<i>Milliamina arenacea</i>
<i>Psammosphaera fusca</i>	<i>Reophax fusiformis</i>
<i>Reophax testaceus</i>	<i>Reophax</i> spp.
<i>Reophax fusiformis</i>	
<i>Reophax</i> spp.	

APÊNDICE D – Valores de Fator de Enriquecimento (FE) para os metais quantificados nos sedimentos das amostras coletadas em 2016.

FE	Arsênio	Alumínio	Cádmio	Crômio	Cobre	Ferro	Níquel	Chumbo	Selênio	Zinco	Mercúrio
Amostra	(As)	(Al)	(Cd)	(Cr)	(Cu)	(Fe)	(Ni)	(Pb)	(Se)	(Zn)	(Hg)
Botany	1	1	*	1	1	1	*	*	*	1	*
Ilha Dufayel	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hennequin	1	1	*	1	1	1	*	*	*	1	*
P. Ullmann	1	1	*	1	1	1	*	*	*	1	*
Refúgio II	3	1	*	1	1	1	*	*	*	1	*
EACF Heliponto 30	2	1	*	1	1	1	*	*	*	1	*
EACF Tanque 30	2	1	*	1	1	1	*	*	*	1	*
EACF Heliponto 60	2	10	*	1	1	1	*	*	*	1	*
EACF Tanque 60	3	1	*	1	1	1	*	*	*	1	*

APÊNDICE E - Resultado do calculo do Igeo para os metais quantificados nos sedimentos em todas as amostras coletadas em 2016.

Metais e metaloides	Arsênio	Alumínio	Cádmio	Crômio	Cobre	Escândio	Ferro	Níquel	Chumbo	Selênio	Zinco	Mercúrio
Amostra	(As)	(Al)	(Cd)	(Cr)	(Cu)	(Sc)	(Fe)	(Ni)	(Pb)	(Se)	(Zn)	(Hg)
Botany	-1	0	*	0	0	0	0	*	*	*	0	*
Ilha Dufayel	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hennequin	-1	-1	*	-1	-1	-1	-1	*	*	*	-1	*
P. Ullmann	0	0	*	-1	0	0	0	*	*	*	0	*
Refúgio II	0	0	*	-1	0	-1	0	*	*	*	0	*
EACF Heliponto 30	0	0	*	-1	-1	-1	0	*	*	*	0	*
EACF Tanque 30	0	0	*	-1	0	-1	0	*	*	*	0	*
EACF Heliponto 60	0	3	*	-1	0	0	0	*	*	*	0	*
EACF Tanque 60	0	0	*	-1	0	0	0	*	*	*	0	*

APÊNDICE F – Correlação de Sperman das amostras de biocenose coletadas na Baía do Almirantado – Ilha Rei George durante a campanha OPERANTAR XXXV (2016). As variáveis abióticas selecionadas foram: profundidade (Prof), % de Areia e Lama, % de CaCO₃, HPA's, Metais (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sc, Zn e Ar), espécies *Bolivina pacifica* (Bp), *Cassidulinoides parkerana* (Cp), *Deuterammina grisea*, *Eggerella minuta* (Em), *Epistominella exigua* (Ee), *Fursenkoina riggi* (Fr), *Globocassidulina bitor* (Gb), *Globocassidulina crassa* (Gc), *Globocassidulina subglobosa* (Gs), *Globocassidulina* spp. (Gspp.), *Glomospira irregularis* (Gi), *Lepdoaratrochammina lépida* (Ll), *Pseudobolivina antártica* (Pa), *Spiroplectammina bifurmis* (Sb) e *Textularia wiesneri* (Tw). Destacadas em vermelho estão as variáveis que apresentaram correlação forte (>0,70).

	Prof	Areia	Lama	CaCO ₃	HPAs	As	Al	Cr	Cu	Sc	Fe	Ni	Pb	Se	Zn	Bp	Cp	Dg	Em	Ee	Fr	Gb	Gc	Gs	Gspp	Gi	Ll	Pa	Sb	Tw
Prof																														
Areia	-0.8																													
Lama	0.8	-1.0																												
CaCO ₃	0.3	-0.4	0.3																											
HPAs	0.4	-0.7	0.6	0.3																										
As	0.6	-0.4	0.3	0.7	0.3																									
Al	0.6	-0.9	1.0	0.2	0.6	0.2																								
Cd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																							
Cr	-0.2	0.0	0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.3																							
Cu	0.6	-0.5	0.6	0.0	0.1	0.5	0.6	0.4																						
Sc	0.5	-0.9	0.9	0.3	0.5	0.1	1.0	0.3	0.5																					
Fe	0.5	-0.9	0.9	0.5	0.6	0.3	0.9	0.0	0.3	0.8																				
Ni	-0.1	-0.1	0.2	-0.2	-0.3	-0.1	0.3	0.2	0.5	0.4	0.1																			
Pb	0.1	-0.4	0.4	0.4	-0.1	-0.1	0.4	-0.3	-0.1	0.5	0.6	0.3																		
Se	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.5	0.4	-0.1	-0.1	0.6	-0.1	-0.3	0.5	-0.1																	
Zn	0.7	-1.0	1.0	0.5	0.7	0.4	0.9	0.1	0.5	0.9	0.9	0.1	0.4	-0.2																
Hg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0															
Bp	0.3	-0.3	0.3	0.1	0.0	-0.2	0.1	-0.5	-0.3	0.1	0.1	-0.3	0.4	-0.4	0.2															
Cp	0.3	-0.4	0.4	-0.2	0.4	-0.2	0.3	-0.2	-0.1	0.2	0.1	-0.2	0.0	-0.5	0.3	0.7														
Dg	0.2	-0.1	0.1	-0.3	-0.3	-0.4	0.0	-0.1	-0.2	0.0	0.0	-0.3	0.3	-0.2	0.0	0.7	0.3													
Em	0.9	-0.7	0.6	0.0	0.3	0.3	0.4	-0.4	0.3	0.4	0.4	-0.2	0.2	0.2	0.6	0.4	0.4	0.4												
Ee	0.5	-0.2	0.2	-0.1	0.2	0.1	0.0	-0.2	0.0	0.0	-0.2	-0.5	-0.2	-0.2	0.1	0.7	0.8	0.4	0.5											
Fr	0.3	0.1	-0.1	-0.5	-0.2	-0.2	-0.3	-0.1	0.0	-0.3	-0.5	-0.4	-0.4	0.1	-0.2	0.4	0.4	0.6	0.5	0.7										
Gb	0.6	-0.2	0.2	0.2	0.1	0.8	0.2	0.2	0.7	0.0	0.1	0.1	-0.4	0.6	0.2	-0.2	-0.1	-0.4	0.2	0.1	0.0									
Gc	0.6	-0.1	0.1	0.3	0.0	0.7	0.0	0.1	0.6	-0.1	0.0	-0.1	-0.3	0.5	0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.1	0.2	0.1	0.9								
Gs	0.4	-0.4	0.5	0.4	0.1	0.6	0.4	0.2	0.7	0.4	0.3	0.6	0.1	0.4	0.4	-0.1	0.0	-0.5	0.0	0.0	-0.3	0.7	0.6							
Gspp	0.4	-0.4	0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	-0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.2	0.6	0.3	-0.2	-0.2	-0.1	0.5	-0.3	-0.1	0.2	-0.1	0.1						
Gi	-0.2	0.4	-0.4	-0.5	-0.3	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.6	-0.2	-0.1	-0.1	-0.6	0.6	0.6	0.4	0.2	0.5	0.6	-0.4	-0.3	-0.5	-0.1					
Ll	-0.2	0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.3	-0.3	-0.5	-0.3	-0.1	-0.3	0.4	-0.4	-0.3	0.7	0.2	0.8	0.0	0.1	0.2	-0.5	-0.2	-0.6	-0.2	0.6				
Pa	0.5	-0.6	0.6	0.1	0.2	-0.2	0.5	-0.1	0.1	0.5	0.5	-0.1	0.6	-0.4	0.5	0.9	0.7	0.7	0.5	0.5	0.2	-0.2	0.0	0.1	-0.1	0.2	0.5			
Sb	0.3	-0.5	0.4	0.0	0.5	0.1	0.4	-0.3	0.1	0.3	0.7	-0.1	0.2	-0.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.4	-0.3	-0.3	0.0	-0.1	-0.2	0.6	-0.1	0.1	0.2		
Tw	-0.3	0.0	0.0	0.3	-0.4	-0.3	0.1	0.0	-0.3	0.3	0.2	0.1	0.8	-0.2	0.1	0.1	-0.3	0.3	-0.2	-0.4	-0.2	-0.6	-0.5	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	0.2	-0.2	

APÊNDICE G – Correlação de Sperman das amostras de tanatocenose coletadas na Baía do Almirantado – Ilha Rei George durante a campanha OPERANTAR XXXV (2016). As variáveis abióticas selecionadas foram: profundidade (Prof), % de Areia e Lama, % de CaCO₃, HPA's, Metais (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sc, Zn e Ar), espécies *Adercotryma glomerata* (Ag), *Bolivinella pacifica* (Bp), *Cassidulinoides parkerana* (Cp), *Cibicidoides wuellerstorffi* (Cw), *Cribostomoides jeffreysii* (Cj), *Deuterammina grisea*, *Eggerella minuta* (Em) *Epistominella exigua* (Ee), *Fursenkoina riggi* (Fr), *Globocassidulina bora* (Gb), *Globocassidulina crassa* (Gc), *Globocassidulina subglobosa* (Gs), *Globocassidulina* spp. (Gssp.), *Milliammina arenacea* (Ma), *Nonionella* spp (Nspp.), *Lepdoaratrochammina lépida* (Li), *Pseudobolivina antártica* (Pa), *Reussolina apiculata* (Ra), *Spiroplectammina biformis* (Sb). Destacadas em vermelho estão as variáveis que apresentaram correlação forte (>0,70).

	Prof	Areia	Lama	CaCO ₃	HPAs	As	Al	Cr	Cu	Sc	Fe	Ni	Pb	Se	Zn	Ag	Bc	Cp	Cw	Cj	Dg	Em	Fr	Gb	Gr	Gs	Gssp.	Ma	Nspp.	Pa	Ra
Prof																															
Areia	-0.7																														
Lama	0.8	-0.9																													
CaCO ₃	0.2	-0.2	0.4																												
HPAs	0.4	-0.6	0.7	0.3																											
As	0.8	-0.4	0.6	0.6	0.3																										
Al	0.6	-0.9	0.8	0.1	0.5	0.3																									
Cd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																								
Cr	-0.3	0.1	-0.3	0.0	-0.1	0.0	0.2																								
Cu	0.6	-0.6	0.4	0.0	0.1	0.6	0.7	0.3																							
Sc	0.3	-0.8	0.6	0.2	0.3	0.1	0.9	0.3	0.5																						
Fe	0.5	-0.9	0.9	0.3	0.5	0.4	0.8	-0.2	0.5	0.7																					
Ni	-0.1	-0.2	0.0	-0.4	-0.3	-0.1	0.4	0.4	0.5	0.5	0.2																				
Pb	0.1	-0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.1	0.4	-0.3	0.1	0.6	0.6	0.3																			
Se	0.3	0.1	-0.1	-0.2	-0.5	0.4	-0.1	0.1	0.6	-0.1	-0.1	0.5	-0.1																		
Zn	0.6	-1.0	0.9	0.2	0.7	0.3	1.0	0.1	0.5	0.9	0.9	0.2	0.4	-0.2																	
Hg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0																
Ag	0.4	-0.5	0.3	-0.1	0.0	-0.2	0.3	-0.5	-0.1	0.3	0.3	-0.1	0.6	-0.3	0.3																
Bc	0.4	-0.5	0.3	-0.1	0.2	-0.1	0.3	-0.3	-0.1	0.3	0.0	-0.1	0.2	-0.4	0.3	0.8															
Cp	-0.2	0.1	0.0	-0.2	0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.5	-0.2	-0.3	0.0	-0.1	-0.4	-0.2	0.1	0.5														
Cw	0.1	-0.3	0.4	0.3	0.7	0.3	0.2	0.0	-0.1	0.2	0.1	0.0	-0.2	-0.2	0.3	-0.3	0.0	0.5													
Cj	0.3	-0.5	0.6	0.3	0.7	0.2	0.5	0.1	0.4	0.3	0.6	-0.2	0.1	-0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1												
Dg	0.2	-0.3	0.4	-0.2	0.4	-0.2	0.0	-0.9	-0.3	-0.1	0.3	-0.3	0.3	-0.4	0.2	0.7	0.4	0.4	0.0	0.2											
Em	0.7	-0.7	0.7	0.3	0.2	0.4	0.7	0.0	0.7	0.5	0.7	-0.1	0.4	0.0	0.7	0.5	0.4	-0.4	-0.3	0.6	0.1										
Fr	0.0	-0.3	0.1	-0.3	0.3	-0.4	0.3	-0.1	-0.1	0.3	0.0	0.2	0.1	-0.5	0.2	0.5	0.8	0.8	0.3	0.2	0.4	0.0									
Gb	0.6	-0.4	0.5	0.2	0.3	0.8	0.4	0.1	0.6	0.2	0.3	0.3	-0.3	0.6	0.3	-0.4	-0.1	0.0	0.5	0.1	-0.3	0.2	-0.1								
Gr	0.3	-0.6	0.6	0.3	0.7	0.3	0.6	0.2	0.3	0.5	0.5	0.3	0.0	-0.3	0.6	-0.2	0.2	0.4	0.8	0.6	0.0	0.2	0.5	0.6							
Gs	0.6	-0.8	0.7	0.0	0.6	0.2	0.7	0.0	0.3	0.7	0.4	0.2	0.1	-0.3	0.7	0.5	0.8	0.4	0.5	0.3	0.2	0.4	0.7	0.4	0.7						
Gssp.	-0.1	0.0	0.0	-0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	-0.1	0.0	0.6	-0.3	0.4	0.0	-0.5	-0.4	0.3	0.3	0.1	0.0	-0.3	0.1	0.5	0.3	0.0					
Ma	0.8	-0.5	0.6	0.2	0.2	0.8	0.4	-0.3	0.6	0.2	0.5	0.1	0.0	0.6	0.4	0.0	-0.1	-0.4	0.2	0.0	0.0	0.3	-0.4	0.7	0.2	0.2	0.2				
Nspp.	0.2	-0.2	0.3	0.7	0.1	0.4	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	-0.2	0.3	-0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.0	0.5	0.1	0.5	0.2	0.1	0.3	0.2	-0.3	-0.2			
Pa	0.3	-0.5	0.3	-0.1	0.1	-0.3	0.4	-0.4	-0.1	0.4	0.2	0.1	0.6	-0.4	0.3	0.9	0.9	0.4	-0.1	0.0	0.6	0.4	0.7	-0.3	0.1	0.6	-0.3	-0.2	0.2		
Ra	0.5	-0.5	0.4	-0.2	0.4	0.1	0.6	0.1	0.4	0.3	0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0.6	0.3	0.2	-0.4	-0.2	0.4	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3	-0.1	0.3	-0.2	0.1	
Sb	0.1	-0.1	0.2	0.0	-0.2	0.0	-0.2	-0.8	-0.2	-0.2	0.2	0.1	0.6	0.1	-0.1	0.4	0.1	0.3	0.0	-0.2	0.7	0.0	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	-0.5

APÊNDICE H - Distribuição de espécies da tanatocenose e biocenose em cada ponto de coleta realizadas na Baía do Almirantado, Ilha Rei George durante a campanha OPERANTAR XXXVI (2018) tal como dados abióticos, densidade, quantidade de sedimento triado (alíquota em cm³), índices de Simpson (1-D), Shannon-Wiener (H'), Equitatividade (E) e tipo de carapaça de cada espécie (calcária - C e aglutinante - A).

OPERANTAR XXXVI	C/A	Botany		Hennequi 1		Hennequin 2		Ponta Ullmann		Refúgio II		EACF 30 Heliponto		EACF 30 Tanques		EACF 60 Heliponto		EACF 60 Tanques		Mackellar 1		Mackellar 2		Mackellar 3	
Profundidade		25.9		31.0		31.0		22.6		32.4		21.8		30.0		60.8		47.6		44.0		25.7		64.5	
pH		7		6		6		6		6		6		6		7		6		6		6		6	
Tanatocenose/Biocenose		T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B	T	B
N (total de indivíduos)		122	9	70	7	48	24	131	28	166	14	279	12	289	30	264	102	289	35	67	20	12	3	128	28
Alíquota (cm ³)		100		100		100		100		100		80		100		20		20		100		100		100	
S		10	3	15	3	11	10	13	7	11	6	15	3	15	2	17	6	21	9	10	4	4	2	18	6
1-D		0.8	0.49	0.9	0.57	0.8	0.81	0.8	0.81	0.6	0.73	0.8	0.49	0.8	0.06	0.9	0.6	0.9	0.83	0.8	0.58	0.6	0.44	0.8	0.75
H'		1.78	0.85	2.31	0.96	2.05	1.96	1.99	1.76	1.28	1.54	2.08	0.82	1.91	0.15	2.31	1.11	2.56	1.96	1.82	1.06	1.12	0.64	2.07	1.52
J		0.77	0.77	0.85	0.87	0.85	0.85	0.78	0.9	0.53	0.86	0.77	0.75	0.71	0.21	0.81	0.69	0.84	0.89	0.79	0.77	0.81	0.92	0.72	0.85
<i>Adercotryma Glomeratum</i>	A	*	*	1	*	4	*	2	*	*	*	1	*	*	*	5	*	29	3	*	*	*	*	*	1
<i>Bolivinella pacifica</i>	C	*	*	2	*	1	8	13	5	*	*	1	*	*	*	11	*	30	8	2	*	*	*	*	*
<i>Bulimina spp.</i>	C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*
<i>Cassidulinoides parkeriana</i>	C	10	*	6	4	5	3	12	5	*	*	7	1	*	*	14	3	27	10	*	*	*	*	*	*
<i>Cibicidoides wuellerstorffi</i>	A	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	8	*	2	*	1	*	*	*	*	*	*	*	1	*
<i>Cornuspira involvens</i>	C	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	5
<i>Cribostomoides jeffreysii</i>	A	*	*	1	*	2	*	*	*	*	*	4	*	*	*	2	2	1	*	*	*	*	*	*	*
<i>Deuterammina grisea</i>	A	6	1	18	*	16	1	36	3	1	1	32	*	14	*	66	*	30	2	2	*	7	*	47	*
<i>Deuterammina glabra</i>	A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	2	*
<i>Eggerella minuta</i>	A	*	*	4	*	3	2	*	*	*	*	1	*	1	*	22	*	19	4	3	*	*	*	2	*
<i>Epistominella exigua</i>	A	*	*	*	1	1	1	*	5	*	*	*	*	*	*	4	15	*	1	4	*	*	*	3	3
<i>Fursenkoina riggi</i>	C	*	*	*	*	2	*	*	*	*	*	4	*	3	*	19	*	24	*	1	*	1	*	*	*
<i>Globocassidulina biora</i>	C	21	6	2	*	8	*	3	*	35	6	48	3	51	*	8	25	2	*	6	*	*	*	4	9

<i>Globocassidulina crassa</i>	C	*	*	*	*	*	*	*	*	5	3	26	*	50	*	*	*	2	*	*	*	*	*	*	*
<i>Globocassidulina subglobosa</i>	C	11	*	3	*	2	5	2	*	0	2	51	8	70	29	1	56	6	2	3	4	*	*	1	9
<i>Globocassidulina</i> spp.	C	52	*	8	2	*	*	11	*	101	*	73	*	73	*	7	1	10	*	24	12	2	*	23	1
<i>Lagenammina</i> spp.	A	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	*	*	*	*	*	*	*
<i>Lepdoparatrochammina lepida</i>	A	2	*	3	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	7	*	*	*	*	*	*	*	1	*
<i>Leptohalysis catella</i>	A	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Loeblichopsis sabulosa</i>	A	2	2	*	*	*	*	*	*	*	*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	12	*
<i>Milliamina arenacea</i>	C	1	*	*	*	*	*	*	*	5	*	*	*	4	*	9	*	13	*	*	*	*	*	2	*
<i>Nonionella</i> spp.	C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3	*	*	*	*	*	1	*
<i>Pseudobolivina antarctica</i>	A	7	*	2	*	4	1	15	8	2	1	*	*	1	*	48	*	55	3	4	3	*	1	2	*
<i>Pseudonodosinella nodulosa</i>	A	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	1	*	*	2	*	*	*	*	*	*	*
<i>Procerolagena gracilis</i>	C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Psammosphaera fusca</i>	A	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*	*	*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	3	*
<i>Pullenia salesburyi</i>	A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Reophax scorpiurus</i>	A	*	*	4	*	*	*	2	*	*	*	*	*	*	*	4	*	10	*	*	*	*	*	*	*
<i>Reussoolina apiculata</i>	C	*	*	*	*	*	1	*	*	1	*	*	*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	4	*
<i>Reophax fusiformis</i>	A	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	*	2	*	*	*	*	*	*	*
<i>Reophax</i> spp.	A	*	*	2	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	2	*	3	*
<i>Spiroplectammina biformis</i>	A	10	*	13	*	*	*	32	1	10	*	16	*	8	*	36	*	16	2	18	*	*	2	16	*
N.I (não identificado)		*	*	*	*	*	*	*	*	1	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*

APÊNDICE I – Espécies raras encontradas nas amostras coletadas na Baía do Almirantado – Ilha Rei George durante a campanha OPERANTAR XXXVI (2018) que apresentaram frequência relativa <3% e retiradas das análises estatísticas.

Espécies Raras - OPXXXVI	
Tanatocenose	Biocenose
<i>Adercotryma glomeratum</i>	<i>Amodiscus insertus</i>
<i>Amodiscus insertus</i>	<i>Bulimina</i> spp.
<i>Bulimina</i> spp.	<i>Cibicidoides wuellerstorffi</i>
<i>Cibicidoides wuellerstorffi</i>	<i>Deuterammina glabra</i>
<i>Cornuspira involvens</i>	<i>Fursenkoina riggi</i>
<i>Deuterammina glabra</i>	<i>Lagenammina</i> spp.
<i>Lagenammina</i> spp.	<i>Milliamina arenacea</i>
<i>Lepthoalysis catella</i>	<i>Nonionella</i> spp.
<i>Nonionella</i> psp.	<i>Procerolagena gracillis</i>
<i>Pseudonodosinella nodulosa</i>	<i>Psammoephaera fusca</i>
<i>Procerolagena gracillis</i>	<i>Pullenia salesburyi</i>
<i>Psammoephaera fusca</i>	<i>Reophax scorpiurus</i>
<i>Pullenia salesburyi</i>	<i>Reophax</i> spp.
<i>Textularia wiesneri</i>	
N. I (não identificado)	

APÊNDICE J – Valores de Fator de Enriquecimento (FE) para os metais quantificados nos sedimentos das amostras coletadas em 2018.

Metais e Mtaloides	Arsênio	Alumínio	Cádmio	Crômio	Cobre	Ferro	Niquel	Chumbo	Selênio	Zinco	Mercúrio
Amostra	As	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Se	Zn	Hg
Botany	*	1	*	1	1	1	1	*	*	1	*
Hennquin 1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hennequin 2	1	1	*	1	1	1	1	*	*	1	*
P. Ullmann	1	1	*	1	1	1	0	*	*	1	*
Refúgio II	1	1	*	1	1	1	1	*	*	1	*
EACF Heliponto 30	1	1	*	1	1	1	0	*	*	1	*
EACF Tanque 30	1	1	*	1	1	1	0	*	*	1	*
EACF Heliponto 60	1	1	*	1	1	1	0	*	*	1	*
EACF Tanque 60	1	1	*	1	1	1	0	*	*	1	*
Mackellar 1	1	1	*	0	2	1	0	*	*	1	*
Mackellar 2	2	1	*	0	2	1	0	*	*	1	*
Mackellar 3	2	1	*	0	2	1	0	*	*	2	*

APÊNDICE K - Resultado do cálculo do Igeo para os metais quantificados nos sedimentos em todas as amostras coletadas em 2018.

Metais e Metaloides	Arsênio	Alumínio	Cádmio	Crômio	Cobre	Escândio	Ferro	Níquel	Chumbo	Selênio	Zinco	Mercúrio
Amostra	As	Al	Cd	Cr	Cu	Sc	Fe	Ni	Pb	Se	Zn	Hg
Botany	*	0	*	-1	0	0	-1	-1	*	*	0	*
Hennequin 1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Hennequin 2	-1	-1	*	-1	-1	-1	-1	-1	*	*	-1	*
P. Ullman	0	0	*	-1	-1	0	0		*	*	0	*
Refúgio II	0	0	*	-1	0	0	0	-1	*	*	0	*
EACF Heliponto 30	0	0	*	-1	-1	0	0	*	*	*	-1	*
EACF Tanque 30	0	0	*	-1	0	0	0	*	*	*	0	*
EACF Heliponto 60	-1	0	*	-1	-1	0	0	*	*	*	0	*
EACF Tanque 60	0	0	*	-1	0	0	0	*	*	*	0	*
Mackellar 1	0	0	*	-3	1	0	0	-2	*	*	0	*
Mackellar 2	0	0	*	-3	1	0	0	-2	*	*	0	*
Mackellar 3	1	0	*	-3	1	-1	0	-2	*	*	0	*

APÊNDICE L – Correlação de Sperman das amostras de biocenose coletadas na Baía do Almirantado – Ilha Rei George na campanha OPERANTAR XXXVI (2018). Variáveis selecionadas: pH, % de Areia (Areia) e Lama (Lama), % de CaCO₃, HPA's, Metais e Metalóides (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sc, e Zn), as espécies: *Adercotryma glomerata* (Ag), *Bolivina pacifica* (Bp), *Cassidinoides parkeriana* (Cp), *Cribostomoides jeffreysii* (Cj), *Deuterammina grisea* (Dg), *Eggerella minuta* (Em), *Epistominella exigua* (Ee), *Globocassidulina bitor* (Gb), *Globocassidulina crassa* (Gc), *Globocassidulina subglobosa* (Gs), *Globocassidulina* spp. (Gsp), *Lepidoparatrochammina lépida* (Ll), *Leptohalysis catella* (Lc), *Loeblichopsis sabulosa* (Ls), *Pseudobolivina antártica* (Pa), *Pseudonodosinella nodulosa* (Pn), *Reophax scoriurus* (Rs), *Reussolina apiculata* (Ra), *Reophax fusiformis* (Rf) e *Spiroplectammina biformis* (Sb). Destacadas em vermelho estão as variáveis que apresentaram correlação forte (>0,70). *N.I = espécies não identificadas.

	Prof	pH	HPAs	As	Al	Cd	Cr	Cu	Sc	Fe	Ni	Pb	Se	Zn	Areia	Lama	CaCO3	Ag	Bp	Cp	Ci	Dg	Em	Ee	Gb	Gc	Gs	Gspp	Ll	Lc	Ls	Pa	Pn	Ra	Rf	Sb
Prof																																				
pH	0.1																																			
HPAs	0.4	0.1																																		
As	0.2	-0.6	0.5																																	
Al	0.2	0.5	0.1	-0.1																																
Cd	0.3	-0.3	0.3	0.7	-0.3																															
Cr	-0.1	0.1	-0.2	-0.3	0.5	-0.6																														
Cu	0.3	-0.2	0.6	0.8	0.0	0.8	-0.4																													
Sc	0.1	0.6	0.1	-0.1	0.8	-0.2	0.3	0.1																												
Fe	0.1	-0.2	0.7	0.8	0.1	0.4	-0.3	0.7	0.3																											
Ni	-0.2	0.0	0.0	0.1	-0.3	0.3	0.1	0.3	-0.2	0.0																										
Pb	0.2	-0.3	0.2	0.7	-0.3	1.0	-0.6	0.8	-0.2	0.4	0.3																									
Se	-0.5	-0.1	0.5	0.1	-0.2	-0.2	0.0	0.1	-0.2	0.3	0.4	-0.2																								
Zn	0.4	-0.3	0.5	0.8	0.3	0.7	-0.2	0.8	0.1	0.6	0.0	0.7	0.0																							
Areia	-0.3	0.3	-0.7	-0.7	-0.1	-0.4	0.2	-0.6	-0.1	-0.8	0.2	-0.3	-0.1	-0.5																						
Lama	0.3	-0.3	0.7	0.7	0.1	0.4	-0.2	0.6	0.1	0.8	-0.1	0.3	0.2	0.5	-1.0																					
CaCO3	0.1	0.1	0.2	0.0	0.8	-0.5	0.6	-0.1	0.6	0.3	-0.5	-0.6	0.0	0.1	-0.3	0.3																				
Ag	0.6	-0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.0	0.4	-0.1	0.3	-0.2	0.1	-0.1	0.5	-0.3	0.3	0.2																			
Bp	0.1	-0.3	-0.3	-0.2	0.1	-0.3	0.7	-0.3	-0.1	-0.3	0.0	-0.3	-0.2	-0.1	0.4	-0.4	0.2	0.3																		
Cp	0.1	-0.1	-0.3	-0.5	0.0	-0.5	0.4	-0.6	-0.1	-0.4	-0.5	-0.5	-0.3	-0.4	0.4	-0.4	0.2	0.2	0.7																	
Ci	0.5	-0.1	0.4	0.5	0.0	0.5	-0.2	0.3	-0.3	0.2	0.0	0.4	-0.1	0.5	-0.4	0.4	-0.1	0.6	-0.2	-0.3																
Dg	-0.3	0.0	-0.1	-0.3	0.4	-0.5	0.8	-0.2	0.1	-0.2	0.2	-0.5	0.2	-0.1	0.4	-0.4	0.4	0.2	0.8	0.5	-0.2															
Em	0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	0.4	0.0	-0.1	-0.1	0.1	-0.3	-0.1	-0.1	0.2	-0.2	0.1	0.5	0.8	0.5	-0.1	0.5														
Ee	0.3	0.2	0.0	-0.3	0.1	-0.1	0.1	-0.5	-0.1	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.1	0.3	-0.3	0.1	0.3	0.4	0.6	0.3	0.2	0.2													
Gb	0.3	0.6	0.6	-0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	-0.1	0.3	0.0	-0.3	0.3	0.1	0.1	-0.5	-0.3	0.4	-0.2	-0.4	0.2												
Gc	-0.5	-0.1	0.5	0.1	-0.2	-0.2	0.0	0.1	-0.2	0.3	0.4	-0.2	1.0	0.0	-0.1	0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.2	-0.1	-0.3	0.3											
Gs	0.6	0.1	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	-0.2	-0.1	-0.1	0.1	-0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2	-0.2	0.3	-0.5	0.0	0.2	0.4	-0.1										
Gspp	0.3	0.1	0.0	0.0	-0.3	0.3	-0.7	0.0	-0.4	-0.3	-0.2	0.4	-0.2	0.1	0.2	-0.2	-0.5	0.0	-0.4	0.0	0.3	-0.6	-0.3	0.3	0.1	-0.2	0.2									
Ll	0.0	-0.1	-0.4	-0.2	-0.4	-0.2	0.4	-0.3	-0.3	-0.4	0.5	-0.2	-0.1	-0.4	0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.6	0.2	-0.1	0.2	0.6	0.1	-0.2	-0.1	0.1	-0.2								
Lc	0.0	-0.1	-0.4	-0.2	-0.4	-0.2	0.4	-0.3	-0.3	-0.4	0.5	-0.2	-0.1	-0.4	0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.6	0.2	-0.1	0.2	0.6	0.1	-0.2	-0.1	0.1	-0.2	1.0							
Ls	-0.1	0.7	-0.2	-0.4	0.5	-0.2	0.3	0.0	0.5	-0.3	0.3	-0.2	-0.1	-0.2	0.3	-0.3	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.2	-0.1	-0.3	0.3	-0.1	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.3					
Pa	-0.2	-0.4	-0.1	0.2	0.0	0.1	0.3	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.2	0.1	0.4	0.2	-0.2	0.0	0.1	0.6	0.3	-0.3	0.6	0.4	0.1	-0.5	0.1	-0.4	-0.2	0.1	0.1	-0.3					
Pn	0.0	-0.1	-0.1	0.3	0.3	-0.2	0.0	0.0	0.3	0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.1	-0.2	0.2	0.5	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	-0.3	-0.2	-0.1	0.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3				
Ra	0.0	-0.1	-0.4	-0.2	-0.4	-0.2	0.4	-0.3	-0.3	-0.4	0.5	-0.2	-0.1	-0.4	0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.6	0.2	-0.1	0.2	0.6	0.1	-0.2	-0.1	0.1	-0.2	1.0	1.0	-0.1	0.1	-0.1	-0.3		
Rf	-0.4	-0.1	-0.3	-0.1	0.4	-0.2	0.5	-0.4	0.0	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	-0.2	0.4	-0.1	0.4	0.4	-0.1	0.5	-0.1	0.4	-0.2	-0.1	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.5	-0.1	-0.1		
Sb	-0.1	-0.3	0.0	0.2	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	-0.2	0.2	-0.2	0.4	-0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.4	-0.2	0.4	0.3	0.1	-0.5	-0.2	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.2	0.6	-0.2	-0.2	0.4	
NI	-0.2	-0.2	0.3	0.3	-0.3	0.2	-0.2	0.4	-0.3	0.1	0.4	0.3	0.7	0.3	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.1	0.0	-0.2	-0.4	0.0	0.7	0.0	0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0.4	-0.1	-0.1	-0.3	

APÊNDICE M - Correlação de Sperman das amostras de tanatocenose, coletadas na Baía do Almirantado – Ilha Rei George durante a campanha OPERANTAR XXXVI (2018). Variáveis selecionadas: profundidade, pH, % de Areia e Lama, % de CaCO₃, HPA's, Metais e Metalóides (As, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sc, Zn) as espécies: Bolivinella pacifica (Bp), Cassidulinoides parkeriana (Cp), Cribostomoides jeffreysii (Cj), Deuterammina grisea (Dg), Eggerella minuta (Em), Epistominella exígua (Ee), Fursenkoina riggi (Fr), Globocassidulina biora (Gb), Globocassidulina crassa (Gc), Globocassidulina subglobosa (Gs), Globocassidulina spp. (Gssp.), Lepdoparatrochammina lépida (Ll), Loeblichopsis sabulosa (Ls), Milliamina arenacea, Pseudobolivina antártica (Pa), Reophax scorpiurus (Rs), Reusoolina apiculata (Ra), Reophax spp. (Rspp.) e Spiroplectammina biformis (Sb). Destacadas em vermelho estão as variáveis que apresentaram correlação forte (>0,70).

Cr	Cd	Al	As	HPAs	pH	Prof	Prof

Areia	Hg	Zn	Se	Pb	Ni	Fe	Sc	Cu
								0.1
							0.3	0.7
					0.3	0.0	-0.2	0.3
				-0.2	0.4	0.4	-0.1	0.8
				0.7	0.0	0.3	-0.1	0.1
			0.0			0.8	0.1	0.9
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	-0.6	-0.2	-0.3	0.1	-0.8	-0.1	-0.6
-1.0	0.0	0.6	0.2	0.3	-0.2	0.8	0.1	0.6
-0.1	0.0	0.0	0.1	-0.6	-0.4	0.2	0.6	-0.2
0.4	0.0	-0.1	-0.3	-0.2	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3
0.3	0.0	-0.4	-0.3	-0.6	-0.5	-0.4	0.3	-0.5
0.1	0.0	-0.6	-0.2	-0.5	-0.3	-0.5	-0.2	-0.5
-0.2	0.0	0.0	-0.5	-0.2	-0.6	-0.1	-0.2	-0.2
0.2	0.0	0.0	-0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.5	0.0
0.1	0.0	0.4	-0.2	0.5	0.4	-0.1	-0.5	0.3
-0.3	0.0	0.0	-0.3	-0.2	-0.4	0.2	0.3	0.1
-0.2	0.0	-0.3	0.3	-0.5	0.1	0.0	0.2	-0.1
-0.5	0.0	0.1	0.4	-0.4	-0.3	0.5	0.2	0.1
0.1	0.0	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	0.2	-0.2
-0.4	0.0	0.2	0.5	-0.2	0.0	0.3	0.1	0.2
0.3	0.0	-0.4	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	0.1	-0.4
-0.4	0.0	0.1	-0.2	0.1	0.1	-0.1	-0.1	0.2
-0.3	0.0	0.4	0.4	-0.2	0.1	0.5	0.2	0.4
0.5	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.1	-0.3	0.0	-0.1
0.4	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.5	-0.2	-0.2	-0.4
-0.5	0.0	0.4	0.4	0.1	0.1	0.5	-0.1	0.4
-0.3	0.0	0.4	0.2	0.4	0.1	0.3	-0.4	0.4
0.0	0.0	0.3	-0.1	0.1	-0.4	-0.1	-0.3	0.0

<i>R_{spp}</i>	<i>R_a</i>
	0.3
	0.0