# Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente

## Material Suplementar Ambiente Costeiro

## Tema: Ecotoxicologia

**RT- 55/ OUT 26**

**RA2025 PMBA/FEST-UFES**

Vitória,

Outubro de 2026

## EQUIPE TÉCNICA

Adalto Bianchini (coordenador)

Camila De Martinez Gaspar Martins

Henrique Fragoso dos Santos

Iole Beatriz Marques Orselli

Juliana Castro Monteiro Pirovani

Mariana da Fontoura Martins

Maysa do Vale Oliveira

Yuri Dornelles Zebral

**SUMÁRIO**

**1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL ..... 4**

**2 METODOLOGIA ..... 4**

2.1 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA, SEDIMENTO E BIOTA ..... 4

2.2 ANÁLISES DE LABORATÓRIO ..... 18

2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS ..... 21

2.4 ALTERAÇÕES NA MALHA, FREQUÊNCIA AMOSTRAL E ESCOPO REALIZADOS EM OUTUBRO DE 2024: CONSEQUÊNCIAS PARA AS ANÁLISES DA SÉRIE HISTÓRICA DE INDICADORES ..... 22

**3 RESULTADOS DOS INDICADORES ..... 22**

3.1 ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (*IBR BIOACUMULAÇÃO*) ..... 24

3.2 ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA *(IBR BIOMARCADOR)* ..... 51

**4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO ..... 69**

**5 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS ..... 72**

**6 REFERÊNCIAS ..... 73**

# 1 HISTÓRICO DE MALHA E FREQUÊNCIA AMOSTRAL

A malha e frequência amostrais do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I (PMBA/Fest-UFES) passou por modificações ao longo do tempo, visando seu aperfeiçoamento para atendimento aos objetivos do Programa. Estas alterações foram orientadas pela Câmara Técnica da Biodiversidade (CTBio) e aprovadas pelo Comitê Interfederativo (CIF), por meio de: (1) Ofício SEI nº 1/2020-CTBio/DIBIO/ICMBio, de outubro de 2019 (para o período de transição), (2) Proposta Técnica de continuidade do monitoramento, apresentadas e aprovadas em 2022, visando o "Novo Ciclo do PMBA/Fest-UFES" e (3) Ofício SEI Nº 32/2024/CTBio/DIBIO/ICMBio, Nota Técnica nº 1/2024-CTBio/DIBIO/ICMBio e Deliberação CIF nº 803, de 08 de agosto de 2024.

As modificações implementadas encontram-se nos seguintes Materiais Suplementares, os quais contemplam todo o período de execução do PMBA/Fest-UFES: (1) MS – Malha amostral, que apresentam as estações amostrais executadas ao longo do tempo por todos os Anexos/Temas, separados por cada marco temporal histórico mencionado acima ("Ano 1", "Transição", "Novo Ciclo" e "Deliberação 803"); (2) Frequência amostral, o qual contempla o histórico da periodicidade amostral (seguindo os mesmos Anexos/Temas contemplados no item 1) e (3) MS – Mapas históricos das malhas amostrais, que apresenta os mapas das malhas amostrais (incluindo as estações) executadas por todos os Anexos/Temas.

Segue o detalhamento temporal, como forma de esclarecer a execução dentro dos marcos históricos: "Ano 1" (setembro de 2018 e setembro de 2019); "Transição" (outubro de 2019 e julho de 2022); "Novo Ciclo" (agosto de 2022 a setembro de 2024) e "Deliberação 803" (outubro de 2024 a março de 2026). O grupo da Ecotoxicologia é uma exceção a esta historicidade, pois iniciou a amostragem referente ao "Novo Ciclo" em janeiro de 2023 e segue com a "Deliberação 803", na periodicidade já informada.

# 2 METODOLOGIA

A metodologia apresentada contempla o escopo em vigência no momento de entrega deste relatório, ou seja, as amostragens e análises previstas para o Novo Ciclo do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática – PMBA submetidas à Fundação Renova através do FORMULÁRIO DE APRESENTAÇÃO DE PLANO DE TRABALHO em agosto de 2022 (e dezembro de 2022 para o Tema Ecotoxicologia) e Deliberação CIF nº 803, de 08 de agosto de 2024. Após a descrição da metodologia implementada, será apresentado um breve descritivo sobre as modificações metodológicas (parâmetros, análise de parâmetros ou grupo de parâmetros, dentre outros) que ocorreram ao longo da evolução do PMBA/Fest-UFES a fim de determinar os indicadores.

## 2.1 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA, SEDIMENTO E BIOTA

As coletas de amostras de água de fundo e de superfície seguiram a metodologia padrão empregada desde a Campanha 1 (set/out 2018). Resumidamente, as coletas de água, ao longo da coluna d'água,

foram realizadas utilizando-se uma garrafa horizontal do tipo Van Dorn. Em todas as estações amostrais foram coletadas 6 amostras de água (3 amostras de superfície e 3 amostras de fundo) para a análise das concentrações de arsênio e metais totais e 6 amostras (3 amostras de superfície e 3 amostras de fundo) de água filtrada (filtro de 0,45 µm de malha) para a análise das concentrações de metais na fração dissolvida. Imediatamente após a coleta, alíquotas das amostras para a determinação das concentrações totais e dissolvidas de metais foram acidificadas com ácido nítrico Suprapur ($HNO_3$, concentração final de 1%) e mantidas refrigeradas. No momento da coleta das amostras de água foram realizadas as medidas da temperatura, condutividade elétrica, salinidade, pH e oxigênio dissolvido, utilizando-se uma sonda multiparâmetro (YSI Professional Plus).

As coletas de amostras de sedimento seguiram a metodologia padrão empregada desde a Campanha 1 (set/out 2018). Em todas as estações amostrais utilizadas para a coleta de água foram coletadas também amostras de sedimento superficial com auxílio de draga do tipo Van Veen. Em cada local de amostragem foram coletadas 4 amostras de sedimento. As amostras foram abertas em caixas plásticas, buscando-se gerar um mínimo de perturbação na superfície do sedimento e fotografadas imediatamente após a coleta, a fim de registrar as características visuais do sedimento. Para a análise de arsênio e metais, as amostras foram coletadas com o auxílio de espátula de plástico, raspando-se apenas os primeiros centímetros (0 - 5 cm) e obtendo-se apenas o sedimento superficial. As amostras de sedimento foram armazenadas em frascos plásticos descontaminados e mantidos congelados até o momento das análises. As amostras de sedimento foram mantidas refrigeradas (<10ºC) até o momento dos ensaios.

Com o objetivo de avaliar possíveis efeitos biológicos decorrentes da contaminação ambiental por metais e arsênio (As) e a consequente acumulação desses elementos nos organismos de diferentes níveis tróficos e diferentes habitats, foram realizadas coletas de organismos típicos das regiões monitoradas. Além disso, as amostras biológicas também foram coletadas com o intuito de avaliar os biomarcadores.

No ambiente praial foram coletados, quando possível, os seguintes organismos: anfípodas (triagem manual do sedimento; 5 pools por ponto de coleta; no mínimo 5 indivíduos por pool), o isópoda *Excirolana sp*. (triagem manual do sedimento; 5 pools por ponto de coleta; no mínimo 5 indivíduos por pool) e o caranguejo *Ocypode quadrata* (coleta manual; 6 indivíduos por ponto de coleta). Após a biometria, os caranguejos foram adequadamente anestesiados e então dissecados para a coleta de amostras de músculo, brânquias e hepatopâncreas.

Nos manguezais, foram coletados caranguejos guaiamu (*Cardisoma guanhumi*) e/ou uçá (*Ucides cordatus*). Para os manguezais de franja sobre lateritos do REVIS Santa Cruz, foram coletadas espécies de crustáceos decápodes predominantes naqueles ambientes. O número mínimo amostral ($n \geq 5$) estabelecido no Anexo 5 do TR4, para as amostragens de caranguejos nos manguezais, foi aumentado para 6 indivíduos para cada espécie em cada ponto amostral. Durante a execução do monitoramento, houve a necessidade de inclusão de uma nova espécie (apenas para o ponto na foz do Rio Doce), pertencente ao mesmo nível trófico das outras, conhecida popularmente como

caranguejo vermelho (*Goniopsis cruentata*) (n = 6). A inclusão desta nova espécie se deve ao fato da inexistência de *U. cordatus* no ponto referente à foz do Rio Doce. Após a biometria, os caranguejos foram adequadamente anestesiados e então dissecados para coleta de amostras de músculo, brânquias e hepatopâncreas.

Todas as amostras biológicas coletadas foram acondicionadas em tubos criogênicos e congeladas em nitrogênio líquido em campo, sendo posteriormente transferidas para um ultrafreezer (-80ºC), onde permaneceram acondicionadas até a análise. Nas amostras foram analisados os seguintes elementos: Alumínio (Al), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn). Além disto, as amostras biológicas coletadas foram também analisadas em termos dos biomarcadores em tecidos específicos dos organismos, considerando-se a natureza de cada biomarcador, conforme será detalhado mais adiante.

Portanto, conforme descrito acima, os protocolos de coleta das amostras ambientais e biológicas foram aqueles já descritos anteriormente no âmbito do PMBA/Fest-UFES (RRDM, RSE 2022). No entanto, a partir da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) foram adotadas as recomendações contidas no *"Parecer técnico dos métodos adotados para quantificação de metais e arsênio em tecidos e vísceras da biota aquática - Avaliação da adequação e eficiência metodológica das análises de metais e arsênio no âmbito do PMBA*" emitido pela Fundação Renova em agosto de 2022. Neste caso, foram adotadas as seguintes alterações na coleta das amostras de água e sedimento destinadas as análises de arsênio e metais:

(1) Os frascos destinados às coletas, mesmo que ainda não tenham sido utilizados, foram banhados em ácido nítrico 5%, por 24 horas, completados por lavagem em água deionizada em abundância, para se evitar qualquer fonte de contaminação.

(2) As coletas de água, ao longo da coluna d'água, foram realizadas utilizando-se uma garrafa horizontal do tipo *Van Dorn*. Em todas as estações amostrais foram coletadas 6 amostras de água (3 amostras de superfície e 3 amostras de fundo) para a análise das concentrações de metais totais e 6 amostras (3 amostras de superfície e 3 amostras de fundo) de água filtrada (filtro de 0,45 µm de malha) para a análise das concentrações de metais na fração dissolvida. O volume de amostra de água coletado por réplica, que era de 100 mL, passou a ser de 250 mL. Sendo assim, foi adicionado em cada réplica acidificada um volume de 3,5 mL de ácido nítrico Suprapur 65%. As amostras de água acidificadas foram mantidas refrigeradas.

(3) As coletas de amostras de sedimento destinadas às análises químicas seguiram a metodologia padrão empregada desde a Campanha 1 (set/out 2018). Em todas as estações amostrais utilizadas para a coleta de água foram coletadas também amostras de sedimento superficial com auxílio de draga do tipo *Van Veen.* Em cada local de amostragem foram coletadas 4 amostras de sedimento. As amostras foram abertas em caixas plásticas, buscando-se gerar um mínimo de perturbação na superfície do sedimento, e fotografadas imediatamente após a coleta, a fim de registrar as características visuais do sedimento. Para a análise de metais, as amostras foram coletadas com o auxílio de espátula de plástico, raspando-se apenas os primeiros centímetros (0 - 5 cm) e obtendo-se apenas o sedimento superficial. A partir da

Campanha 8 (set/out 2022), a massa de sedimento coletada por réplica, que era de 50 g, passou a ser de, no mínimo, 200 g. Potes com capacidade total de 250 g foram preenchidos, deixando-se apenas o espaço de expansão do congelamento, para garantir a massa necessária de amostra para as determinações. As amostras de sedimentos foram mantidas congeladas.

As atividades de campo para a coleta das amostras de aves foram realizadas pela TEIA – Projetos Ambientais Ltda, em regiões estuarinas, de manguezais e costeiras, nos municípios de Aracruz, Linhares e São Mateus, no estado do Espírito Santo.

Realizaram-se as capturas e coletas das aves nos locais de amostragem, conforme autorização para atividades com finalidade científica, emitida pelo ICMBio/MMA. A presente autorização contempla a coleta de no máximo 20 aves em cada uma das 3 grandes regiões amostradas. Para as amostras de penas e sangue, poderia ser coletado, independentemente do método de coleta, um máximo de 60 espécimes por ano, considerando todas as localidades e estações do ano. Assim que a meta das amostras coletadas era atingida, a amostragem era interrompida.

A coleta das amostras foi realizada conforme os hábitos alimentares das aves relacionadas aos ambientes de estuário, manguezais e litoral, em três áreas amostrais: estuário do Rio Doce – Linhares (ES); manguezal na foz do Rio Piraquê-açú – Aracruz (ES); e praias da costa adjacente à foz do Rio Doce Norte e Sul. A representatividade das amostras seguiu os exemplos e prioridades estabelecidas no Plano de Trabalho do Tema Ecotoxicologia. Porém, quando não se observou a ocorrência de representante de uma determinada guilda, esta foi substituída por outras guildas, desde que seus representantes possuíssem hábitos alimentares relacionados a ambientes costeiros, dentro da área de estudo (estuário, manguezais e praias). Com isso, optou-se por substituir espécies de aves que contemplavam algumas guildas tróficas (i.e. filtradores e malacófagos) e que, de fato, não ocorreram em certas áreas amostradas, por outras espécies com representatividade em seus hábitos alimentares, tais como: onívoros, consumidores de invertebrados, pequenos vertebrados e frutos [exemplos: Cuculidae (*Crotophaga major*), Tyrannidae (*Pitangus sulphuratus*); Mimidae (*Mimus gilvus*); Thraupidae (*Conirostrum bicolor*); e Icteridae (*Icterus jamacaii*)] e insetívoros, consumidores de insetos aquáticos e terrestres [exemplos: Dendrocolaptidae (*Dendroplex picus*); Tyrannidae (*Fluvicola nengeta*); Furnariidae (*Furnarius figulus* e *Certhiaxis cinnamomeus*); Hirundinidae (*Tachycinetta albiventer* e *Stelgidopteryx ruficollis*); e Caprimulgidae (*Nannochordeiles pusillus*)]. As espécies aqui citadas possuem associação com ambientes de mangue, restinga, corpos d'água e/ou podem estar presentes em ambientes dulcícola e estuarino (Sick, 1997; Sigrist, 2006). A lista completa das espécies de aves coletadas durante as Campanhas 10 (jun/jul 2023 – período seco), 11 (jan 2024 – período chuvoso) e 12 (julho/ 2024 - período seco), 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), 14 (jul 2025 – período seco) e 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) encontra-se ordenada na Tabela 1.

.

Tabela 1: Lista de espécies de aves, cujas amostras de penas e/ou sangue foram coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), Campanha 11 (jan/2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) do Projeto Ecotoxicologia do PMBA/Fest-UFES.

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 1 | *Arenaria interpres* | Costeiro | 1 | |
| 1 | *Charadrius semipalmatus* | Costeiro | 1 | |
| 1 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |
| 1 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 1 | *Guira guira* | Costeiro | 1 | |
| 1 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 1 | |
| 1 | *Nannochordeiles pusillus* | Costeiro | 1 | 14 |
| 1 | *Pluvialis squatarola* | Costeiro | 1 | |
| 1 | *Progne tapera* | Costeiro | 2 | |
| 1 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 2 | |
| 1 | *Thalasseus maximus* | Costeiro | 1 | |
| 1 | *Tringa semipalmata* | Costeiro | 1 | |
| 1 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 2 | |
| 1 | *Anthus lutescens* | Estuário | 2 | |
| 1 | *Celeus flavescens* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 2 | |
| 1 | *Chloroceryle americana* | Estuário | 2 | |
| 1 | *Crotophaga major* | Estuário | 2 | |
| 1 | *Egretta thula* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Eupetomena macroura* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Glaucis hirsutus* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Megaceryle torquata* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Mustelirallus albicollis* | Estuário | 1 | 33 |
| 1 | *Myiarchus ferox* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Myrmoterula axilaris* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Phaetusa simplex* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Pseucolopterix sclateri* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Rallus longirostris* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Sporophila collaris* | Estuário | 2 | |
| 1 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Estuário | 5 | |
| 1 | *Tolmomyias flaviventris* | Estuário | 3 | |
| 1 | *Vanellus chilensis* | Estuário | 1 | |
| 1 | *Actitis macularius* | Mangue | 2 | |
| 1 | *Amazilia fimbriata* | Mangue | 2 | |
| 1 | *Charadrius semipalmatus* | Mangue | 1 | |
| 1 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 5 | |
| 1 | *Columbina talpacoti* | Mangue | 1 | |
| 1 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 2 | |
| 1 | *Crotophaga major* | Mangue | 1 | |
| 1 | *Dendroplex picus* | Mangue | 5 | 35 |
| 1 | *Egretta caerulea* | Mangue | 2 | |
| 1 | *Euphonia violacea* | Mangue | 1 | |
| 1 | *Fluvicola nengeta* | Mangue | 1 | |
| 1 | *Myiarchus tyrannulus* | Mangue | 1 | |
| 1 | *Myiozetestes similis* | Mangue | 3 | |
| 1 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 2 | |
| 1 | *Paroaria dominicana* | Mangue | 2 | |
| 1 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 4 | |
| Total Campanha 1 | | | | 82 |
| 2 | *Actitis macularius* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Anthus lutescens* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Aramides cajanea* | Costeiro | 1 | 33 |
| 2 | *Charadrius collaris* | Costeiro | 3 | |
| 2 | *Charadrius semipalmatus* | Costeiro | 8 | |
| 2 | *Columbina squammata* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Icterus jamacaii* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 3 | |
| 2 | *Mimus saturninus* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Nannochordeiles pusillus* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Numenius hudsonicus* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Pluvialis squatarola* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Rynchops niger* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Sicalis flaveola* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Sterna hirundinacea* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 3 | |
| 2 | *Vanellus chilensis* | Costeiro | 1 | |
| 2 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 1 | |
| 2 | *Anthus lutescens* | Estuário | 1 | |
| 2 | *Ardea alba* | Estuário | 1 | |
| 2 | *Butorides striata* | Estuário | 1 | |
| 2 | *Caprimulgus parvula* | Estuário | 1 | |
| 2 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 6 | |
| 2 | *Charadrius collaris* | Estuário | 2 | |
| 2 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 3 | 28 |
| 2 | *Chloroceryle americana* | Estuário | 2 | |
| 2 | *Crotophaga ani* | Estuário | 2 | |
| 2 | *Crotophaga major* | Estuário | 1 | |
| 2 | *Fluvicola nengeta* | Estuário | 1 | |
| 2 | *Furnarius figulus* | Estuário | 2 | |
| 2 | *Megaceryle torquata* | Estuário | 1 | |
| 2 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 1 | |
| 2 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 2 | |
| 2 | *Actitis macularius* | Mangue | 11 | |
| 2 | *Amazilia fimbriata* | Mangue | 1 | |
| 2 | *Charadrius semipalmatus* | Mangue | 5 | |
| 2 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 3 | |
| 2 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 2 | |
| 2 | *Dendroplex picus* | Mangue | 4 | |
| 2 | *Egretta caerulea* | Mangue | 1 | 38 |
| 2 | *Fluvicola nengeta* | Mangue | 2 | |
| 2 | *Megaceryle torquata* | Mangue | 1 | |
| 2 | *Molothrus bonariensis* | Mangue | 1 | |
| 2 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 2 | |
| 2 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 4 | |
| 2 | *Sicalis flaveola* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 2 | | | | 99 |
| 3 | *Actitis macularius* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Anthus lutescens* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Calidris pusilla* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Charadrius semipalmatus* | Costeiro | 8 | |
| 3 | *Columbina squammata* | Costeiro | 4 | |
| 3 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 5 | |
| 3 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | 46 |
| 3 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Formicivora rufa* | Costeiro | 2 | |
| 3 | *Icterus jamacaii* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Machetornis rixosa* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 2 | |
| 3 | *Molothrus bonariensis* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Pitangus sulphuratus* | Costeiro | 3 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 3 | *Progne tapera* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Rynchops niger* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Sicalis flaveola* | Costeiro | 5 | |
| 3 | *Tachycineta albiventer* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 2 | |
| 3 | *Tolmomyias flaviventris* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Vanellus chilensis* | Costeiro | 1 | |
| 3 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 2 | |
| 3 | *Celeus flavescens* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 2 | |
| 3 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Chloroceryle americana* | Estuário | 2 | |
| 3 | *Dendrocygna autumnalis* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Egretta thula* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Fluvicola nengeta* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 3 | 24 |
| 3 | *Himantopus melanurus* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Leptotila rufaxilla* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Megaceryle torquata* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Nyctanassa violacea* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 2 | |
| 3 | *Rallus longirostris* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Sporophila collaris* | Estuário | 2 | |
| 3 | *Thalasseus acuflavidus* | Estuário | 1 | |
| 3 | *Actitis macularius* | Mangue | 4 | |
| 3 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 1 | |
| 3 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 2 | |
| 3 | *Columbina talpacoti* | Mangue | 2 | |
| 3 | *Crotophaga major* | Mangue | 1 | |
| 3 | *Dendroplex picus* | Mangue | 2 | |
| 3 | *Egretta thula* | Mangue | 1 | |
| 3 | *Fluvicola nengeta* | Mangue | 1 | 21 |
| 3 | *Megarynchus pitangua* | Mangue | 1 | |
| 3 | *Numenius hudsonicus* | Mangue | 1 | |
| 3 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 1 | |
| 3 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 2 | |
| 3 | *Thamnophilus palliatus* | Mangue | 1 | |
| 3 | *Vanellus chilensis* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 3 | | | | 91 |
| 4 | *Actitis macularius* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Anthus lutescens* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Ardea alba* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Arenaria interpres* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Charadrius collaris* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Charadrius semipalmatus* | Costeiro | 4 | |
| 4 | *Chloroceryle americana* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Columbina squammata* | Costeiro | 5 | |
| 4 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 2 | |
| 4 | *Crotophaga ani* | Costeiro | 2 | |
| 4 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 1 | 37 |
| 4 | *Fluvicola nengeta* | Costeiro | 2 | |
| 4 | *Hydropsalis torquata* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Leptotila rufaxilla* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Mimus saturninus* | Costeiro | 2 | |
| 4 | *Myiarchus sp.* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Numenius hudsonicus* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Pitangus sulphuratus* | Costeiro | 2 | |
| 4 | *Pluvialis squatarola* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Rynchops niger* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Sterna hirundinacea* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Tringa melanoleuca* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Turdus rufiventris* | Costeiro | 1 | |
| 4 | *Actitis macularius* | Estuário | 2 | |
| 4 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Cacicus haemorrhous* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 6 | |
| 4 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 2 | |
| 4 | *Cochlerius cochlearius* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Coereba flaveola* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Dendrocygna autumnalis* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Egretta thula* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Empidonomus varius* | Estuário | 3 | |
| 4 | *Fluvicola nengeta* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Furnarius rufus* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 1 | 35 |
| 4 | *Glaucis hirsutus* | Estuário | 2 | |
| 4 | *Mustelirallus albicollis* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Ortalis aracuan* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Phaethornis idaliae* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Phaetusa simplex* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Sporophila collaris* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Tangara sayaca* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Tolmomyias flaviventris* | Estuário | 1 | |
| 4 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 2 | |
| 4 | *Actitis macularius* | Mangue | 5 | |
| 4 | *Amazilia fimbriata* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Ardea alba* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Charadrius semipalmatus* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 8 | |
| 4 | *Dendroplex picus* | Mangue | 3 | |
| 4 | *Egretta caerulea* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Eupetomena macroura* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Fluvicola nengeta* | Mangue | 2 | 38 |
| 4 | *Glaucis hirsutus* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Megaceryle torquata* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Paroaria dominicana* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 7 | |
| 4 | *Tachycineta albiventer* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Tangara palmarum* | Mangue | 1 | |
| 4 | *Tyrannus melancholicus* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 4 | | | | 110 |
| 5 | *Actitis macularius* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Anthus lutescens* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Ardea alba* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Arenaria interpres* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Calidris alba* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Charadrius collaris* | Costeiro | 2 | |
| 5 | *Charadrius semipalmatus* | Costeiro | 2 | |
| 5 | *Columbina squammata* | Costeiro | 3 | |
| 5 | *Columbina talpacoti* | Costeiro | 1 | 50 |
| 5 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Formicivora rufa* | Costeiro | 2 | |
| 5 | *Geothlypis aequinoctialis* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Icterus jamacaii* | Costeiro | 4 | |
| 5 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 4 | |
| 5 | *Nannochordeiles pusillus* | Costeiro | 4 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 5 | *Numenius hudsonicus* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Pitangus sulphuratus* | Costeiro | 12 | |
| 5 | *Sterna hirundo* | Costeiro | 2 | |
| 5 | *Taraba major* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Turdus rufiventris* | Costeiro | 1 | |
| 5 | *Tyrannus melancholicus* | Costeiro | 2 | |
| 5 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Anthus lutescens* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Ardea cocoi* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Camptostoma obsoletum* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Cathartes burrovianus* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 5 | |
| 5 | *Chlorestes notata* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Columbina talpacoti* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Dendrocygna autumnalis* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Elaenia flavogaster* | Estuário | 4 | |
| 5 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 2 | |
| 5 | *Icterus jamacaii* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Mustelirallus albicollis* | Estuário | 1 | 40 |
| 5 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Nyctanassa violacea* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Phaetusa simplex* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 4 | |
| 5 | *Polytmus guainumbi* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Rhynchotus rufescens* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Sporophila collaris* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Sporophila leucoptera* | Estuário | 2 | |
| 5 | *Thalasseus acuflavidus* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Tyrannus melancholicus* | Estuário | 2 | |
| 5 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 2 | |
| 5 | *Vanellus chilensis* | Estuário | 1 | |
| 5 | *Actitis macularius* | Mangue | 10 | |
| 5 | *Ardea alba* | Mangue | 1 | |
| 5 | *Charadrius semipalmatus* | Mangue | 6 | |
| 5 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 2 | |
| 5 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 2 | |
| 5 | *Columbina talpacoti* | Mangue | 1 | |
| 5 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 10 | |
| 5 | *Dendroplex picus* | Mangue | 3 | |
| 5 | *Egretta caerulea* | Mangue | 1 | |
| 5 | *Egretta thula* | Mangue | 1 | 49 |
| 5 | *Fluvicola nengeta* | Mangue | 1 | |
| 5 | *Paroaria dominicana* | Mangue | 1 | |
| 5 | *Passer domesticus* | Mangue | 1 | |
| 5 | *Picumnus cirratus* | Mangue | 1 | |
| 5 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 5 | |
| 5 | *Sicalis flaveola* | Mangue | 1 | |
| 5 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Mangue | 1 | |
| 5 | *Turdus leucomelas* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 5 | | | | 139 |
| 6 | *Amazilia leucogaster* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Anthus lutescens* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Arenaria interpres* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Charadrius semipalmatus* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Columbina squammata* | Costeiro | 2 | |
| 6 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 4 | 46 |
| 6 | *Crotophaga ani* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 2 | |
| 6 | *Eupetomena macroura* | Costeiro | 1 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 6 | *Formicivora rufa* | Costeiro | 3 | |
| 6 | *Furnarius rufus* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Icterus jamacaii* | Costeiro | 3 | |
| 6 | *Larus cirrocephalus* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 7 | |
| 6 | *Pitangus sulphuratus* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Rallus longirostris* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Rynchops niger* | Costeiro | 2 | |
| 6 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Tangara cayana* | Costeiro | 2 | |
| 6 | *Taraba major* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Tyrannus melancholicus* | Costeiro | 1 | |
| 6 | *Volatinia jacarina* | Costeiro | 5 | |
| 6 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Cairina moschata* | Estuário | 2 | |
| 6 | *Camptostoma obsoletum* | Estuário | 2 | |
| 6 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 3 | |
| 6 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Coryphospingus pileatus* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Egretta thula* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Eupetomena macroura* | Estuário | 2 | |
| 6 | *Fluvicola nengeta* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 2 | |
| 6 | *Himantopus melanurus* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Icterus jamacaii* | Estuário | 2 | 43 |
| 6 | *Jacana jacana* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Leptotila rufaxilla* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Nyctidromus albicollis* | Estuário | 2 | |
| 6 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 3 | |
| 6 | *Rynchops niger* | Estuário | 3 | |
| 6 | *Sicalis flaveola* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Thalasseus acuflavidus* | Estuário | 2 | |
| 6 | *Tigrisoma lineatum* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Vanellus chilensis* | Estuário | 1 | |
| 6 | *Volatinia jacarina* | Estuário | 8 | |
| 6 | *Amazilia fimbriata* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Aramides mangle* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Ardea alba* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Columbina talpacoti* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 9 | |
| 6 | *Crotophaga major* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Dendroplex picus* | Mangue | 2 | 29 |
| 6 | *Eupetomena macroura* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Fluvicola nengeta* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Megaceryle torquata* | Mangue | 2 | |
| 6 | *Myiarchus tyrannulus* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 3 | |
| 6 | *Tachycineta albiventer* | Mangue | 1 | |
| 6 | *Tyrannus melancholicus* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 6 | | | | 118 |
| 7 | *Actitis macularius* | Costeiro | 8 | |
| 7 | *Arenaria interpres* | Costeiro | 2 | |
| 7 | *Calidris alba* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Chordeiles acutipennis* | Costeiro | 2 | 46 |
| 7 | *Columbina squammata* | Costeiro | 2 | |
| 7 | *Columbina talpacoti* | Costeiro | 2 | |
| 7 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 3 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 7 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Elaenia cf. mesoleuca* | Costeiro | 2 | |
| 7 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Formicivora rufa* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Laterallus viridis* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Machetornis rixosa* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 3 | |
| 7 | *Myiarchus ferox* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Paroaria dominicana* | Costeiro | 2 | |
| 7 | *Pitangus sulphuratus* | Costeiro | 2 | |
| 7 | *Pluvialis squatarola* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Rallus longirostris* | Costeiro | 2 | |
| 7 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Costeiro | 2 | |
| 7 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 2 | |
| 7 | *Thalasseus maximus* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Todirostrum cinereum* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Tyrannus melancholicus* | Costeiro | 1 | |
| 7 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 2 | |
| 7 | *Anthus lutescens* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Butorides striata* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Camptostoma obsoletum* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 3 | |
| 7 | *Charadrius semipalmatus* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Chordeiles acutipennis* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Columbina squammata* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Crotophaga ani* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Dendrocygna autumnalis* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Egretta thula* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Furnarius rufus* | Estuário | 2 | |
| 7 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Glaucidium brasilianum* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Glaucis hirsutus* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Icterus jamacaii* | Estuário | 4 | 57 |
| 7 | *Megaceryle torquata* | Estuário | 2 | |
| 7 | *Mustelirallus albicollis* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Myiozetestes similis* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 2 | |
| 7 | *Paroaria dominicana* | Estuário | 3 | |
| 7 | *Phaetusa simplex* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Picumnus cirratus* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 6 | |
| 7 | *Polytmus guainumbi* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Pteroglossus aracari* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Satrapa icterophrys* | Estuário | 1 | |
| 7 | *Sicalis flaveola* | Estuário | 2 | |
| 7 | *Sporophila collaris* | Estuário | 2 | |
| 7 | *Tyrannus melancholicus* | Estuário | 6 | |
| 7 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 3 | |
| 7 | *Actitis macularius* | Mangue | 7 | |
| 7 | *Celeus flavescens* | Mangue | 1 | |
| 7 | *Charadrius semipalmatus* | Mangue | 8 | |
| 7 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 2 | |
| 7 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 4 | |
| 7 | *Columbina talpacoti* | Mangue | 2 | |
| 7 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 6 | 56 |
| 7 | *Dendroplex picus* | Mangue | 1 | |
| 7 | *Egretta caerulea* | Mangue | 2 | |
| 7 | *Eupetomena macroura* | Mangue | 1 | |
| 7 | *Fluvicola nengeta* | Mangue | 1 | |
| 7 | *Furnarius rufus* | Mangue | 1 | |
| 7 | *Icterus jamacaii* | Mangue | 1 | |
| 7 | *Megaceryle torquata* | Mangue | 1 | |
| 7 | *Mimus gilvus* | Mangue | 1 | |
| 7 | *Nannopterum brasilianus* | Mangue | 1 | |
| 7 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 2 | |
| 7 | *Picumnus cirratus* | Mangue | 2 | |
| 7 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 7 | |
| 7 | *Tachycineta albiventer* | Mangue | 1 | |
| 7 | *Troglodytes musculus* | Mangue | 3 | |
| 7 | *Tyrannus melancholicus* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 7 | | | | 159 |
| 8 | *Actitis macularius* | Costeiro | 3 | |
| 8 | *Amazilia leucogaster* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Amazilia versicolor* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Ardea alba* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Arenaria interpres* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Calidris alba* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Charadrius collaris* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Charadrius semipalmatus* | Costeiro | 6 | |
| 8 | *Chordeiles acutipennis* | Costeiro | 2 | |
| 8 | *Columbina squammata* | Costeiro | 4 | |
| 8 | *Columbina talpacoti* | Costeiro | 2 | |
| 8 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 4 | |
| 8 | *Dacnis cayana* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Fregata magnificens* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Icterus jamacaii* | Costeiro | 2 | 78 |
| 8 | *Machetornis rixosa* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Mimus saturninus* | Costeiro | 4 | |
| 8 | *Myiarchus sp.* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Numenius hudsonicus* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Paroaria dominicana* | Costeiro | 3 | |
| 8 | *Pitangus sulphuratus* | Costeiro | 7 | |
| 8 | *Pluvialis squatarola* | Costeiro | 2 | |
| 8 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Sterna hirundo* | Costeiro | 2 | |
| 8 | *Tachycineta albiventer* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Tangara cayana* | Costeiro | 2 | |
| 8 | *Tangara palmarum* | Costeiro | 1 | |
| 8 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 13 | |
| 8 | *Tyrannus melancholicus* | Costeiro | 2 | |
| 8 | *Volatinia jacarina* | Costeiro | 3 | |
| 8 | *Amazilia fimbriata* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Anthus lutescens* | Estuário | 2 | |
| 8 | *Cairina moschata* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 4 | |
| 8 | *Charadrius semipalmatus* | Estuário | 2 | |
| 8 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Columbina minuta* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Conirostrum bicolor* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Crotophaga ani* | Estuário | 3 | 69 |
| 8 | *Egretta caerulea* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Elaenia flavogaster* | Estuário | 3 | |
| 8 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 3 | |
| 8 | *Himantopus melanurus* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Icterus jamacaii* | Estuário | 3 | |
| 8 | *Jacana jacana* | Estuário | 5 | |
| 8 | *Myiozetestes similis* | Estuário | 4 | |
| 8 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Nyctanassa violacea* | Estuário | 1 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 8 | *Nyctidromus albicollis* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Paroaria dominicana* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Patagioenas picazuro* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Phaetusa simplex* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 5 | |
| 8 | *Polytmus guainumbi* | Estuário | 2 | |
| 8 | *Progne chalybea* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Rynchops niger* | Estuário | 2 | |
| 8 | *Sicalis flaveola* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Tangara sayaca* | Estuário | 1 | |
| 8 | *Tyrannus melancholicus* | Estuário | 7 | |
| 8 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 4 | |
| 8 | *Volatinia jacarina* | Estuário | 3 | |
| 8 | *Actitis macularius* | Mangue | 3 | |
| 8 | *Aramides mangle* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Ardea alba* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Cacicus haemorrhous* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Cairina moschata* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 2 | |
| 8 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Egretta caerulea* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Forpus xanthopterygius* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Megaceryle torquata* | Mangue | 1 | 25 |
| 8 | *Nannopterum brasilianus* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Picumnus cirratus* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 4 | |
| 8 | *Pygochelidon cyanoleuca* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Tachycineta albiventer* | Mangue | 2 | |
| 8 | *Tangara brasiliensis* | Mangue | 1 | |
| 8 | *Turdus rufiventris* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 8 | | | | 172 |
| 9 | *Arenaria interpres* | Costeiro | 2 | |
| 9 | *Chloroceryle americana* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Chordeiles acutipennis* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Columbina picui* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Columbina squammata* | Costeiro | 4 | |
| 9 | *Columbina talpacoti* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 9 | |
| 9 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 2 | |
| 9 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Eupetomena macroura* | Costeiro | 2 | |
| 9 | *Fluvicola nengeta* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Icterus jamacaii* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Leptotila verreauxi* | Costeiro | 1 | 59 |
| 9 | *Melanerpes candidus* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 4 | |
| 9 | *Myiarchus tyrannulus* | Costeiro | 2 | |
| 9 | *Patagioenas cayennensis* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Pitangus sulphuratus* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Costeiro | 2 | |
| 9 | *Sterna hirundo* | Costeiro | 9 | |
| 9 | *Tachycineta albiventer* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 8 | |
| 9 | *Tringa melanoleuca* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Troglodytes musculus* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Tyrannus melancholicus* | Costeiro | 1 | |
| 9 | *Actitis macularius* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 2 | |
| 9 | *Anthus lutescens* | Estuário | 1 | 73 |
| 9 | *Butorides striata* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Camptostoma obsoletum* | Estuário | 3 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 9 | *Cathartes aura* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Cathartes burrovianus* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Celeus flavescens* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 9 | |
| 9 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 3 | |
| 9 | *Columbina talpacoti* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Crotophaga ani* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Crotophaga major* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Dendrocygna autumnalis* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Egretta thula* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Elaenia flavogaster* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Eupetomena macroura* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Fluvicola nengeta* | Estuário | 2 | |
| 9 | *Furnarius figulus* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Gallinula galeata* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 3 | |
| 9 | *Guira guira* | Estuário | 3 | |
| 9 | *Icterus jamacaii* | Estuário | 2 | |
| 9 | *Jacana jacana* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Leptotila rufaxilla* | Estuário | 2 | |
| 9 | *Leptotila verreauxi* | Estuário | 2 | |
| 9 | *Myiozetestes similis* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Nycticorax nycticorax* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Nyctidromus albicollis* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Phaetusa simplex* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 11 | |
| 9 | *Polytmus guainumbi* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Rostrhamus sociabilis* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Sporophila leucoptera* | Estuário | 2 | |
| 9 | *Tachybaptus dominicus* | Estuário | 2 | |
| 9 | *Tangara sayaca* | Estuário | 1 | |
| 9 | *Tyrannus melancholicus* | Estuário | 2 | |
| 9 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 2 | |
| 9 | *Actitis macularius* | Mangue | 5 | |
| 9 | *Charadrius semipalmatus* | Mangue | 4 | |
| 9 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 3 | |
| 9 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Coccyzus americanus* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Coereba flaveola* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Columbina talpacoti* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 3 | |
| 9 | *Cyanerpes cyaneus* | Mangue | 3 | |
| 9 | *Dendrocygna autumnalis* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Dendroplex picus* | Mangue | 2 | |
| 9 | *Egretta caerulea* | Mangue | 1 | 41 |
| 9 | *Egretta thula* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Eupetomena macroura* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Euphonia chlorotica* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Myiozetestes similis* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Paroaria dominicana* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Sicalis flaveola* | Mangue | 3 | |
| 9 | *Tachycineta albiventer* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Tolmomyias flaviventris* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Troglodytes musculus* | Mangue | 1 | |
| 9 | *Tyrannus melancholicus* | Mangue | 3 | |
| Total Campanha 9 | | | | 173 |
| 10 | *Anthus lutescens* | Costeiro | 1 | |
| 10 | *Columbina talpacoti* | Costeiro | 1 | |
| 10 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 1 | 20 |
| 10 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |
| 10 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 10 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 1 | |
| 10 | *Formicivora rufa* | Costeiro | 2 | |
| 10 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 2 | |
| 10 | *Paroaria dominicana* | Costeiro | 1 | |
| 10 | *Pitangus sulphuratus* | Costeiro | 2 | |
| 10 | *Progne tapera* | Costeiro | 1 | |
| 10 | *Taraba major* | Costeiro | 2 | |
| 10 | *Thamnophilus palliatus* | Costeiro | 1 | |
| 10 | *Turdus amaurochalinus* | Costeiro | 1 | |
| 10 | *Turdus leucomelas* | Costeiro | 1 | |
| 10 | *Vanellus chilensis* | Costeiro | 1 | |
| 10 | *Amazona amazonica* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 2 | |
| 10 | *Charadrius semipalmatus* | Estuário | 2 | |
| 10 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Coereba flaveola* | Estuário | 2 | |
| 10 | *Columbina squammata* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Columbina talpacoti* | Estuário | 2 | |
| 10 | *Dendrocygna autumnalis* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Dryocopus lineatus* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Egretta thula* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Fluvicola nengeta* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 2 | |
| 10 | *Icterus jamacaii* | Estuário | 2 | |
| 10 | *Leptotila verreauxi* | Estuário | 3 | 44 |
| 10 | *Myiarchus ferox* | Estuário | 3 | |
| 10 | *Myiozetestes similis* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Nyctanassa violacea* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Nyctibius grandis* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 4 | |
| 10 | *Polytmus guainumbi* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Psittacara leucophtamus* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Rynchops niger* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Saltator maximus* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Sporophila collaris* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Tyrannus melancholicus* | Estuário | 2 | |
| 10 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 1 | |
| 10 | *Vanellus chilensis* | Estuário | 2 | |
| 10 | *Ardea alba* | Mangue | 1 | |
| 10 | *Charadrius semipalmatus* | Mangue | 1 | |
| 10 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 2 | |
| 10 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 1 | |
| 10 | *Dendroplex picus* | Mangue | 2 | |
| 10 | *Egretta caerulea* | Mangue | 2 | |
| 10 | *Egretta thula* | Mangue | 1 | 17 |
| 10 | *Glaucis hirsutus* | Mangue | 1 | |
| 10 | *Myiarchus tyrannulus* | Mangue | 1 | |
| 10 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 3 | |
| 10 | *Rallus longirostris* | Mangue | 1 | |
| 10 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 10 | | | | 81 |
| 11 | *Actitis macularius* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Amazilia leucogaster* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Arenaria interpres* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Charadrius collaris* | Costeiro | 2 | |
| 11 | *Charadrius semipalmatus* | Costeiro | 1 | 47 |
| 11 | *Chordeiles acutipennis* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Coccyzus melacoryphus* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 11 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 3 | |
| 11 | *Eupetomena macroura* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Fluvicola nengeta* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Formicivora rufa* | Costeiro | 2 | |
| 11 | *Furnarius figulus* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Geothlypis aequinoctialis* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Icterus jamacaii* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 2 | |
| 11 | *Myiarchus tyrannulus* | Costeiro | 2 | |
| 11 | *Pitangus sulphuratus* | Costeiro | 2 | |
| 11 | *Pluvialis squatarola* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Progne subis* | Costeiro | 2 | |
| 11 | *Progne tapera* | Costeiro | 3 | |
| 11 | *Pygochelidon cyanoleuca* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Rallus longirostris* | Costeiro | 2 | |
| 11 | *Schistochlamys melanopis* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Sicalis flaveola* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Sterna hirundo* | Costeiro | 4 | |
| 11 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 3 | |
| 11 | *Troglodytes musculus* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Tyrannus melancholicus* | Costeiro | 1 | |
| 11 | *Actitis macularius* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 3 | |
| 11 | *Butorides striata* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Cairina moschata* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Camptostoma obsoletum* | Estuário | 3 | |
| 11 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 6 | |
| 11 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 2 | |
| 11 | *Coereba flaveola* | Estuário | 2 | |
| 11 | *Columbina talpacoti* | Estuário | 2 | |
| 11 | *Crotophaga ani* | Estuário | 2 | |
| 11 | *Egretta thula* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Elaenia flavogaster* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Eupetomena macroura* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Eupsittula aurea* | Estuário | 2 | |
| 11 | *Fluvicola albiventer* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Furnarius figulus* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 2 | |
| 11 | *Jacana jacana* | Estuário | 3 | 62 |
| 11 | *Leptotila rufaxilla* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Myiozetestes similis* | Estuário | 4 | |
| 11 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Nyctidromus albicollis* | Estuário | 2 | |
| 11 | *Paroaria dominicana* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Phaetusa simplex* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Picumnus cirratus* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 4 | |
| 11 | *Platalea ajaja* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Progne tapera* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Thraupis sayaca* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Tolmomyias flaviventris* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Tringa flavipes* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Turdus amaurochalinus* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Turdus rufiventris* | Estuário | 1 | |
| 11 | *Tyrannus melancholicus* | Estuário | 3 | |
| 11 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 2 | |
| 11 | *Actitis macularius* | Mangue | 4 | |
| 11 | *Amazilia fimbriata* | Mangue | 1 | |
| 11 | *Charadrius semipalmatus* | Mangue | 4 | 31 |
| 11 | *Chlorestes notata* | Mangue | 1 | |
| 11 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 2 | |
| 11 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 2 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 11 | *Columbina picui* | Mangue | 1 | |
| 11 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 3 | |
| 11 | *Dendroplex picus* | Mangue | 2 | |
| 11 | *Egretta caerulea* | Mangue | 1 | |
| 11 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 2 | |
| 11 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 4 | |
| 11 | *Progne tapera* | Mangue | 1 | |
| 11 | *Tachycineta albiventer* | Mangue | 1 | |
| 11 | *Thraupis palmarum* | Mangue | 2 | |
| Total Campanha 11 | | | | 140 |
| 12 | *Amazilia leucogaster* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Anthus lutescens* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Calidris alba* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Charadrius semipalmatus* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 2 | |
| 12 | *Formicivora rufa* | Costeiro | 2 | |
| 12 | *Geothlypis aequinoctialis* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Icterus jamacaii* | Costeiro | 9 | |
| 12 | *Machetornis rixosa* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 2 | 45 |
| 12 | *Mimus saturninus* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Myiarchus sp.* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Paroaria dominicana* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Sicalis flaveola* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Sporophila nigricolls* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Costeiro | 2 | |
| 12 | *Tangara cayana* | Costeiro | 5 | |
| 12 | *Taraba major* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Thalasseus maximus* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Thraupis sayaca* | Costeiro | 5 | |
| 12 | *Troglodytes musculus* | Costeiro | 1 | |
| 12 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Ardea cocoi* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Cairina moschata* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Camptostoma obsoletum* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 6 | |
| 12 | *Charadrius semipalmatus* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Columbina talpacoti* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Coryphospingus pileatus* | Estuário | 2 | |
| 12 | *Crotophaga major* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Dacnis cayana* | Estuário | 1 | 33 |
| 12 | *Egretta caerulea* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Elaenia flavogaster* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 2 | |
| 12 | *Jacana jacana* | Estuário | 2 | |
| 12 | *Leptotila verreauxi* | Estuário | 2 | |
| 12 | *Myiarchus ferox* | Estuário | 2 | |
| 12 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Nyctidromus albicollis* | Estuário | 2 | |
| 12 | *Patagioenas picazuro* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Picumnus cirratus* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Tolmomyias flaviventris* | Estuário | 1 | |
| 12 | *Cacicus haemorrhous* | Mangue | 1 | |
| 12 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 2 | |
| 12 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 3 | 25 |
| 12 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 2 | |
| 12 | *Dendroplex picus* | Mangue | 2 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 12 | *Egretta caerulea* | Mangue | 2 | |
| 12 | *Eupetomena macroura* | Mangue | 1 | |
| 12 | *Myiozetestes similis* | Mangue | 1 | |
| 12 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 2 | |
| 12 | *Paroaria dominicana* | Mangue | 1 | |
| 12 | *Passer domesticus* | Mangue | 2 | |
| 12 | *Picumnus cirratus* | Mangue | 1 | |
| 12 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 2 | |
| 12 | *Rallus longirostris* | Mangue | 2 | |
| 12 | *Vanellus chilensis* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 12 | | | | 103 |
| 13 | *Actitis macularius* | Costeiro | 8 | |
| 13 | *Calidris alba* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Charadrius semipalmatus* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Chloroceryle americana* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Columbina squammata* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Columbina talpacoti* | Costeiro | 3 | |
| 13 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 2 | |
| 13 | *Dendroplex picus* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 2 | |
| 13 | *Formicivora rufa* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Icterus jamacaii* | Costeiro | 2 | |
| 13 | *Machetornis rixosa* | Costeiro | 1 | 45 |
| 13 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Myiarchus tyrannulus* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Numenius hudsonicus* | Costeiro | 3 | |
| 13 | *Paroaria dominicana* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Pitangus sulphuratus* | Costeiro | 3 | |
| 13 | *Pluvialis squatarola* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Progne tapera* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Sicalis flaveola* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Sterna hirundo* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Taraba major* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 2 | |
| 13 | *Turdus leucomelas* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Tyrannus melancholicus* | Costeiro | 1 | |
| 13 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Butorides striata* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Camptostoma obsoletum* | Estuário | 2 | |
| 13 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 4 | |
| 13 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Columbina talpacoti* | Estuário | 2 | |
| 13 | *Coryphospingus pileatus* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Crotophaga ani* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Dacnis cayana* | Estuário | 2 | |
| 13 | *Dendrocygna autumnalis* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Egretta caerulea* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Elaenia cf. parvirostris* | Estuário | 1 | 46 |
| 13 | *Elaenia flavogaster* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Euphonia violacea* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Furnarius figulus* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Guira guira* | Estuário | 2 | |
| 13 | *Mustelirallus albicollis* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Patagioenas cayennensis* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Picumnus cirratus* | Estuário | 2 | |
| 13 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 9 | |
| 13 | *Rynchops niger* | Estuário | 1 | |
| 13 | *Sicalis flaveola* | Estuário | 1 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 13 | *Tolmomyias flaviventris* | Estuário | 2 | |
| 13 | *Tyrannus melancholicus* | Estuário | 2 | |
| 13 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 3 | |
| 13 | *Actitis macularius* | Mangue | 2 | |
| 13 | *Cacicus haemorrhous* | Mangue | 2 | |
| 13 | *Camptostoma obsoletum* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Charadrius semipalmatus* | Mangue | 4 | |
| 13 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 4 | |
| 13 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Columbina talpacoti* | Mangue | 2 | |
| 13 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Dendroplex picus* | Mangue | 3 | |
| 13 | *Egretta caerulea* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Elaenia flavogaster* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Forpus xanthopterygius* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Galbula ruficauda* | Mangue | 1 | 46 |
| 13 | *Hylophilus thoracicus* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Molothrus bonariensis* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Myiarchus tyrannulus* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Myiozetestes similis* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Picumnus cirratus* | Mangue | 2 | |
| 13 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 6 | |
| 13 | *Progne chalybea* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Saltator maximus* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Sicalis flaveola* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Thraupis sayaca* | Mangue | 1 | |
| 13 | *Troglodytes musculus* | Mangue | 2 | |
| 13 | *Tyrannus melancholicus* | Mangue | 3 | |
| Total Campanha 13 | | | | 137 |
| 14 | *Amazilia leucogaster* | Costeiro | 6 | |
| 14 | *Anthus lutescens* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Camptostoma obsoletum* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Charadrius collaris* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Chordeiles acutipennis* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Columbina squammata* | Costeiro | 2 | |
| 14 | *Columbina talpacoti* | Costeiro | 2 | |
| 14 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 4 | |
| 14 | *Dendroplex picus* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 3 | |
| 14 | *Eupetomena macroura* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Fluvicola nengeta* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Formicivora grisea* | Costeiro | 1 | 48 |
| 14 | *Formicivora rufa* | Costeiro | 2 | |
| 14 | *Geothlypis aequinoctialis* | Costeiro | 2 | |
| 14 | *Larus cirrocephalus* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 3 | |
| 14 | *Myiarchus ferox* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Progne chalybea* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Sicalis flaveola* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Tangara cayana* | Costeiro | 2 | |
| 14 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Thamnophilus palliatus* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Troglodytes musculus* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Turdus amaurochalinus* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Vanellus chilensis* | Costeiro | 1 | |
| 14 | *Volatinia jacarina* | Costeiro | 2 | |
| 14 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 2 | 49 |
| 14 | *Ardea alba* | Estuário | 1 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 14 | *Cacicus haemorrhous* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Cairina moschata* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Camptostoma obsoletum* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 2 | |
| 14 | *Charadrius semipalmatus* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Chloroceryle americana* | Estuário | 2 | |
| 14 | *Columbina minuta* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Columbina squammata* | Estuário | 2 | |
| 14 | *Columbina talpacoti* | Estuário | 2 | |
| 14 | *Coryphospingus pileatus* | Estuário | 2 | |
| 14 | *Dacnis cayana* | Estuário | 3 | |
| 14 | *Dendroplex picus* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Egretta thula* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Fluvicola nengeta* | Estuário | 2 | |
| 14 | *Glaucidium brasilianum* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Megarynchus pitanga* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Megascops choliba* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Myiozetestes similis* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Nyctidromus albicollis* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Paroaria dominicana* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Phaethornis idaliae* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Phaetusa simplex* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Pheugopedius genibarbis* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Picumnus cirratus* | Estuário | 2 | |
| 14 | *Ramphodon naaevius* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Rynchops niger* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Saltator maximus* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Taraba major* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Thalasseus acuflavidus* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Tolmomyias flaviventris* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 2 | |
| 14 | *Vanellus chilensis* | Estuário | 1 | |
| 14 | *Volatinia jacarina* | Estuário | 2 | |
| 14 | *Aramides cajanea* | Mangue | 1 | |
| 14 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 2 | |
| 14 | *Coereba flaveola* | Mangue | 2 | |
| 14 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 2 | |
| 14 | *Dacnis cayana* | Mangue | 2 | |
| 14 | *Dendroplex picus* | Mangue | 2 | |
| 14 | *Egretta caerulea* | Mangue | 1 | |
| 14 | *Euphonia violacea* | Mangue | 3 | |
| 14 | *Furnarius rufus* | Mangue | 1 | |
| 14 | *Megaceryle torquata* | Mangue | 1 | 35 |
| 14 | *Myiozetestes similis* | Mangue | 2 | |
| 14 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 1 | |
| 14 | *Paroaria dominicana* | Mangue | 2 | |
| 14 | *Picumnus cirratus* | Mangue | 1 | |
| 14 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 7 | |
| 14 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Mangue | 1 | |
| 14 | *Troglodytes musculus* | Mangue | 2 | |
| 14 | *Tyrannus melancholicus* | Mangue | 1 | |
| 14 | *Vanellus chilensis* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 14 | | | | 132 |
| 15 | *Actitis macularius* | Costeiro | 3 | |
| 15 | *Amazilia leucogaster* | Costeiro | 4 | |
| 15 | *Charadrius collaris* | Costeiro | 6 | |
| 15 | *Chordeiles acutipennis* | Costeiro | 2 | 55 |
| 15 | *Columbina squammata* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Columbina talpacoti* | Costeiro | 5 | |
| 15 | *Conirostrum bicolor* | Costeiro | 1 | |

| Expedição | Espécie | Ambiente | Amostras por espécie | Amostras por ambiente |
|---|---|---|---|---|
| 15 | *Coryphospingus pileatus* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Egretta caerulea* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Egretta thula* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Elaenia flavogaster* | Costeiro | 2 | |
| 15 | *Eupetomena macroura* | Costeiro | 2 | |
| 15 | *Fluvicola nengeta* | Costeiro | 2 | |
| 15 | *Formicivora grisea* | Costeiro | 3 | |
| 15 | *Icterus jamacaii* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Manacus manacus* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Mimus gilvus* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Mimus saturninus* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Paroaria dominicana* | Costeiro | 4 | |
| 15 | *Rynchops niger* | Costeiro | 3 | |
| 15 | *Sicalis flaveola* | Costeiro | 2 | |
| 15 | *Sterna hirundo* | Costeiro | 4 | |
| 15 | *Taraba major* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Thalasseus acuflavidus* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Tolmomyias flaviventris* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Troglodytes musculus* | Costeiro | 3 | |
| 15 | *Turdus rufiventris* | Costeiro | 1 | |
| 15 | *Actitis macularius* | Estuário | 2 | |
| 15 | *Amazonetta brasiliensis* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Ardea alba* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Butorides striata* | Estuário | 2 | |
| 15 | *Certhiaxis cinnamomeus* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Charadrius semipalmatus* | Estuário | 2 | |
| 15 | *Chlorestes notata* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Chloroceryle amazona* | Estuário | 4 | |
| 15 | *Chloroceryle americana* | Estuário | 2 | |
| 15 | *Coryphospingus pileatus* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Dendrocygna autumnalis* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Elaenia flavogaster* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Fluvicola nengeta* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Furnarius figulus* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Furnarius rufus* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Geothlypis aequinoctialis* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Icterus jamacaii* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Ictinia plumbea* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Leptotila rufaxilla* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Myiarchus ferox* | Estuário | 4 | |
| 15 | *Nannopterum brasilianus* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Nyctanassa violacea* | Estuário | 2 | |
| 15 | *Nyctibius griseus* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Nyctidromus albicollis* | Estuário | 2 | |
| 15 | *Picumnus cirratus* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Pitangus sulphuratus* | Estuário | 4 | |
| 15 | *Polytmus guainumbi* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Sicalis flaveola* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Thraupis sayaca* | Estuário | 2 | |
| 15 | *Tolmomyias flaviventris* | Estuário | 2 | |
| 15 | *Turdus leucomelas* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Tyrannus melancholicus* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Vanellus cayanus* | Estuário | 7 | |
| 15 | *Vanellus chilensis* | Estuário | 1 | |
| 15 | *Actitis macularius* | Mangue | 4 | |
| 15 | *Amazilia fimbriata* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Chaetura meridionalis* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Charadrius semipalmatus* | Mangue | 2 | |
| 15 | *Chloroceryle amazona* | Mangue | 1 | 57 |
| 15 | *Chloroceryle americana* | Mangue | 3 | |
| 15 | *Coereba flaveola* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Conirostrum bicolor* | Mangue | 6 | |
| 15 | *Cyanerpes cyaneus* | Mangue | 2 | |
| 15 | *Dendroplex picus* | Mangue | 2 | |
| 15 | *Egretta caerulea* | Mangue | 4 | |
| 15 | *Egretta thula* | Mangue | 2 | |
| 15 | *Eupetomena macroura* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Euphonia violacea* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Fluvicola nengeta* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Furnarius rufus* | Mangue | 2 | |
| 15 | *Icterus jamacaii* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Leptotila verreauxi* | Mangue | 2 | |
| 15 | *Nyctanassa violacea* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Pandion haliaetus* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Passer domesticus* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Patagioenas picazuro* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Pitangus sulphuratus* | Mangue | 6 | |
| 15 | *Sicalis flaveola* | Mangue | 2 | |
| 15 | *Stelgidopteryx ruficollis* | Mangue | 2 | |
| 15 | *Thraupis sayaca* | Mangue | 2 | |
| 15 | *Todirostrum cinereum* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Troglodytes musculus* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Turdus rufiventris* | Mangue | 1 | |
| 15 | *Tyrannus melancholicus* | Mangue | 1 | |
| Total Campanha 15 | | | | 171 |

A captura das aves foi realizada com o uso de redes com malha de 20 ou 35 mm, medindo 6, 9, 12 ou 18 m de comprimento por 3 m de altura. Estas redes foram instaladas nos diferentes ambientes das áreas pré-definidas, com auxílio de hastes de alumínio e cordas. A quantidade de redes utilizadas variou conforme as condições ambientais dos locais de coleta, tendo sido utilizadas no máximo dez redes. O esforço de captura se deu pelo menos ao longo de dois dias/noites consecutivos ou alternados. As aves capturadas foram acondicionadas em sacos de tecido específicos para contenção destes animais e levadas até a base de apoio, localizada próxima das redes. Na base, as aves foram manipuladas e identificadas, a coleta de dados e de amostras foi realizada e a posterior liberação dos indivíduos foi realizada. Apesar de estar previsto o uso apenas de redes de 10 e 12 m, houve a necessidade de utilização de redes com outras metragens (especificadas acima), por conta das características e condições ambientais encontradas em cada área amostral. No caso dos ambientes de mangue e estuário, quando possível, foram utilizadas redes de maior comprimento. Porém, em outras situações em que era impraticável, optou-se pela utilização de mais redes de menor comprimento para contornar obstáculos e/ou abranger curtas dimensões como, por exemplo, corpos d'água e situações pontuais para captura de determinadas espécies. No ambiente costeiro, pela condição mais ampla da paisagem e suas características ambientais, foram utilizadas, predominantemente, redes de 12 m. Apesar da utilização de redes de menor comprimento, a quantidade utilizada foi proporcional as redes de maior comprimento, que também foram utilizadas, atendendo assim aos esforços e os objetivos de coleta

Nas aves capturadas vivas, foram coletadas as seguintes amostras: sangue (máximo de 1% da massa corporal da ave; coleta em microtubo ou frasco de 1,5 ml, sem anticoagulante); penas de contorno e penas em crescimento (5 a 10 penas, para ambos os tipos de penas). A coleta de sangue das aves vivas foi realizada após a limpeza do local com álcool gel 70%, bem como a avaliação da condição física e do estado de estresse da ave. Visando reduzir o nível de estresse, optou-se pela punção do sangue com agulha de insulina através da veia ulnar ou pelo corte de uma das unhas, no caso de espécimes de menor massa corporal. A quantidade de sangue coletado foi de no máximo 0,2 ml nas aves menores e de 2 ml nas aves com massa corporal superior a 500 g. Após isso, o frasco contendo a amostra de sangue foi mantido refrigerado, até ser posteriormente congelado em freezer. A retirada das penas de crescimento e de contorno foi realizada manualmente com o auxílio de uma pinça. As amostras de penas foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas refrigeradas, até serem posteriormente congeladas em freezer. Esta forma de armazenamento garantiu a integridade das amostras até que as análises químicas fossem realizadas.

As coletas das amostras de aves foram realizadas através do recolhimento de aves encontradas mortas nas áreas amostradas e com os usos de carabinas de ar comprimido (Gamo CFX 4,5; Gamo Black Maxxim 5,5) e pistola (Beemam 4,5). Os esforços de coletas foram complementares e direcionados às espécies não capturadas nas redes de neblina. Cada ave coletada foi individualmente acondicionada em saco plástico e, tão logo possível, foi mantida refrigerada em caixa térmica com gelo ou congelada, até ser preparada em laboratório, onde se efetivou a coleta das seguintes amostras: sangue coagulado, tecidos do músculo peitoral, parte do fígado e um osso (fêmur). Após isso, o sexo da ave foi identificado,

através da visualização das gônadas, bem como foi realizada a dissecção do trato digestório para separação do conteúdo estomacal, completando assim a coleta das amostras das aves mortas. Em seguida, foi realizada a taxidermia dos espécimes. As aves taxidermizadas foram provisoriamente acondicionadas em sacos plásticos lacrados e, posteriormente, acondicionadas a seco em caixa de isopor, até o transporte para o Instituto de Ciências Biológicas da FURG, em Rio Grande/RS, onde encontram-se devidamente armazenadas.

Para todas as aves amostradas, foram feitas anotações de morfometria, muda das penas, idade, sexo, peso e, quando presente, os ectoparasitas e endoparasitas foram coletados. Para as aves coletadas, adicionalmente, foi anotado o peso total do conteúdo estomacal, bem como coletada a carcaça da ave após a retirada das amostras. Por fim, foi realizada a taxidermia da pele do indivíduo, visando o aproveitamento científico e tombamento na Coleção de Aves da FURG (CAFURG). As amostras, exceto as peles taxidermizadas, foram mantidas congeladas. Após o encerramento das Campanhas, as amostras e peles taxidermizadas foram transportadas, via terrestre, até o Instituto de Ciências Biológicas da FURG, em Rio Grande (RS).

## 2.2 ANÁLISES DE LABORATÓRIO

*Análises das concentrações de metais e arsênio nas amostras ambientais e biológicas*

Para a extração dos metais e arsênio (As), nas suas frações totais e dissolvidas, presentes nas amostras de água foi utilizado o método EPA 3015A (U.S. EPA, 2007). As amostras de sedimento superficial coletadas foram liofilizadas, maceradas e homogeneizadas utilizando gral e pistilo de ágata. O processo de extração foi realizado de acordo com o método EPA 3051A (U.S. EPA, 2007) para determinação da fração disponível. As amostras de material biológico foram previamente secas em estufa (45-60°C) até peso constante e o teor de umidade foi obtido. A digestão foi realizada em um sistema de digestão por micro-ondas modelo Multiwave 3000 (Anton-Paar), equipado com um rotor para oito recipientes de quartzo do tipo 80 mL (operando na pressão de 80 bar), utilizando-se ácido nítrico ultrapuro (Suprapur, Merck). Todas as amostras foram diluídas a um fator de 10 vezes utilizando-se água ultrapura (18 MΩ cm), visando adequar as concentrações dos metais e As àquelas das soluções dos padrões certificados, utilizadas para calibrar os equipamentos. As análises das concentrações de Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn nas amostras ambientais (água e sedimento) e biológicas coletadas foram realizadas de acordo com metodologia EPA 6020A (U.S. EPA, 1998), utilizando-se espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, Analytik Jena) em laboratórios especializados do PMBA. O controle de qualidade foi realizado através de brancos analíticos e ensaios de recuperação com materiais de referência certificados.

Os valores das concentrações de metais e As nas amostras biológicas foram incorporados nos modelos matemáticos do Índice de Resposta de Bioacumulação (IBR Bioacumulação), o qual foi proposto por Beliaeff & Burgeot (2002) e otimizado por Devin et al. (2014). O valor do IBR Bioacumulação é a soma da área definida pelo número de elementos dispostos em um diagrama de radar, seguindo uma etapa anterior de padronização das respostas dos elementos. Assim, o índice é calculado somando-se as áreas do gráfico estrela triangular (um método gráfico multivariado simples) para cada par de elementos

vizinhos em um determinado conjunto de dados. Como o resultado do processo de cálculo depende fortemente da organização sequencial dos elementos, foi utilizado um procedimento que cria todas as permutações circulares possíveis das concentrações de metais e As.

*Análises de biomarcadores*

Biomarcadores são alterações biológicas que expressam a exposição e os efeitos tóxicos dos poluentes presentes no ambiente e podem ser mensuradas em nível molecular, celular ou fisiológico (Walker et al., 1996). Portanto, os biomarcadores selecionados para um programa de monitoramento ambiental devem detectar a exposição do organismo aos contaminantes, através de qualquer alteração biológica mensurável (biomarcadores de exposição) e/ou a magnitude de resposta do organismo aos contaminantes (biomarcadores de efeito). Assim, os biomarcadores foram analisados de forma seletiva nas amostras de invertebrados (pools de organismos inteiros ou tecidos), considerando-se os potenciais efeitos biológicos dos metais e do As (desequilíbrio iônico e osmótico, inibição enzimática, oxidação de biomoléculas e danos morfológicos). Os biomarcadores analisados em cada um dos Anos de amostragem encontram-se listadas no Quadro 1. Para fins de praticidade e rapidez na realização das análises e de precisão e reprodutibilidade dos dados, sempre que possível, foram utilizados kits comerciais de reagentes específicos que utilizam metodologia semelhante àquelas descritas abaixo, para a determinação dos respectivos biomarcadores.

Quadro 1: Lista dos biomarcadores analisados em amostras de organismos coletados pelo Tema Ecotoxicologia no ambiente costeiro realizados no Ano 1 (Campanha 1, set/out 2018 - período chuvoso e Campanha 2, jan/fev 2019 - período chuvoso), Ano 2 até Ano 4 (Campanha 3, set/out 2019 - período chuvoso e Campanha 4, jan/fev 2020 - período chuvoso, Campanha 5, jan/fev 2021 - período chuvoso, Campanha 6, jul/ago 2021 - período seco, Campanha 7, mar 2022 - período chuvoso e Campanha 8, set/out 2022 - período seco) e Anos 5, 6, 7 e 8 (Campanha 9, jan/fev 2023 - período chuvoso, Campanha 10, jun/jul 2023 - período seco, Campanha 11, jan/2024 – período chuvoso, Campanha 12, jul 2024 - período seco, Campanha 13, jan/fev 2024 – período chuvoso, Campanha 14, jul 2025 – período seco e Campanha 15, jan/fev 2026 – período chuvoso).

| **BIOMARCADOR (classificação: efeito/exposição)** | | | |
|---|---|---|---|
| **AMOSTRA** | **ANO 1** | **ANO 2 ATÉ ANO 4** | **ANOS 5, 6, 7 e 8** |
| Pools de anfípodas e isópodas | ❖ Concentração de metalotioneína (MT- exposição)<br>❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) | ❖ Concentração de metalotioneína (MT- exposição)<br>❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) | ❖ Concentração de metalotioneína (MT- exposição)<br>❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) |
| Hemolinfa de caranguejos | ❖ Danos de DNA (MN e Sítios AP - efeito) | ❖ Danos de DNA (Sítios AP - efeito) | - |
| Brânquias de caranguejos | ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) | ❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) | ❖ Concentração de metalotioneína (MT- exposição)<br>❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) |
| Hepatopâncreas de caranguejos | ❖ Concentração de metalotioneína (MT- exposição)<br>❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) | ❖ Concentração de metalotioneína (MT- exposição)<br>❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito) | ❖ Concentração de metalotioneína (MT - exposição)<br>❖ Peroxidação lipídica (LPO - efeito)<br>❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito) |
| Músculo de caranguejos | ❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito) | ❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito) | ❖ Oxidação de proteínas (PCO - efeito)<br>❖ Danos ao DNA (Sítios AP - efeito) |

LPO = lipoperoxidação; MN = teste de micronúcleo; MT = concentração de metalotioneína; PCO = proteínas carboniladas; e Sítios AP = número de sítios AP (apurínicos/apirimídicos).

A determinação da concentração de metalotioneínas (MT) foi realizada por meio de um kit comercial de reagentes (*Fish Metallothionein ELISA Kit*, MyBiosource), cujo princípio de análise utiliza um método espectrofotométrico em microplaca. Os procedimentos analíticos para determinação da concentração das MT seguiram aqueles descritos pelo fabricante. Os resultados foram expressos em µg MT/mg proteína.

A lipoperoxidação (LPO) foi determinada no material biológico utilizando-se um método espectrofotométrico em microplaca, seguindo as recomendações do fabricante do kit comercial utilizado (*TBARS Assay Kit*, Chayman Chemical). Este método quantifica os danos em lipídios por meio da reação do malondialdeído (MDA), produto da peroxidação lipídica, com o ácido tiobarbitúrico. Esta

reação ocorre em condições de acidez e alta temperatura (95ºC), gerando um cromógeno fluorescente. A fluorescência gerada foi medida utilizando-se um espectrofluorímetro (excitação: 520 nm; emissão: 580 nm). Os dados foram calculados com base em uma curva construída com soluções padrão de MDA, sendo os resultados normalizados em relação ao conteúdo de proteínas nas amostras, o qual foi determinado utilizando-se o método de Bradford (1976), e expressos em nmol MDA/mg proteína.

Os danos oxidativos em proteínas foram determinados utilizando-se um kit comercial de reagentes (*Protein Carbonyl Fluorometric Assay*, Chayman Chemical). Durante o ensaio, as proteínas carboniladas (oxidadas) (PCO) foram inicialmente derivatizadas com um fluoróforo específico que se liga ao grupo carbonila da proteína na proporção de 1:1. Após isso, as proteínas foram precipitadas com ácido tricloroacético (TCA) e o fluoróforo livre foi removido por meio da lavagem do precipitado proteico com acetona. Após a solubilização do precipitado proteico em hidrocloreto de guanidina, a absorbância do produto proteína-fluoróforo foi determinada fluorimetricamente (emissão: 485; excitação: 538 nm) e o conteúdo de proteínas carboniladas (PCO) calculado. Os resultados foram expressos em nmol PCO/mg proteína.

Os danos oxidativos ao DNA foram medidos através da quantificação do número de sítios AP (sítios apurínicos/apirimídicos) no material genético. Para tal, o DNA genômico foi previamente isolado utilizando-se um kit de reagentes para isolamento de DNA (*DNA isolation kit*, PromoKine, Promocell©). A análise de sítios AP propriamente dita, foi realizada utilizando-se uma sonda capaz de reagir com o grupo aldeído destes sítios, a qual foi detectada por colorimetria (450 nm) em uma leitora de microplacas. Para tal, foi utilizado um kit de reagentes de detecção de dano de DNA (*DNA Damage Detection Kit*, ABCAM; ou outro kit similar). Os resultados foram expressos em sítios AP/$10^5$ pares de bases (bp).

Os dados dos biomarcadores foram incorporados nos modelos matemáticos do Índice de Resposta de Biomarcador (IBR Biomarcador), o qual foi proposto por Beliaeff & Burgeot (2002) e otimizado por Devin et al. (2014). O valor do IBR Biomarcador corresponde à soma da área definida pelo número de elementos dispostos em um diagrama de radar, seguindo uma etapa anterior de padronização das respostas dos elementos. Assim, o índice é calculado somando-se as áreas do gráfico estrela triangular (um método gráfico multivariado simples) para cada par de elementos vizinhos em um determinado conjunto de dados. Como o resultado do processo de cálculo depende fortemente da organização sequencial dos elementos, foi utilizado um procedimento que cria todas as permutações circulares possíveis relacionadas às respostas dos biomarcadores.

## 2.3 HISTÓRICO DE ALTERAÇÕES E ADAPTAÇÕES DE METODOLOGIAS

As principais modificações metodológicas envolveram a otimização no volume das amostras de água e sedimento coletadas e destinadas às determinações de metais e arsênio (As), a partir da Campanha 8 (março 2022), aumentando assim a representatividade da amostra e possibilitando, minimamente, a análise em duplicatas, para verificação de variações e precisão nos resultados. Estas modificações encontram-se descritas na seção anterior. Adicionalmente, a partir da Campanha 6 (jul/ago 2021), as análises das concentrações de Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn nas amostras biológicas

foram realizadas de acordo com metodologia EPA 6020A, utilizando-se espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, Analytik Jena). Além disso, as análises de compostos orgânicos em aves, bem como a coleta de poliquetos e a coleta de hemolinfa de caranguejos de praia e mangue, foram descontinuadas a partir da Campanha 9 (jan/fev - período chuvoso).

Em relação aos biomarcadores, alterações foram feitas a partir da Campanha 9 (jan/fev - período chuvoso), sendo elas: (1) a determinação de Sitio AP passou a ser realizada em músculo de caranguejos de praia e mangue, e não mais na hemolinfa; (2) a determinação de PCO passou a ser realizada em hepatopâncreas e músculo de caranguejos de praia e mangue, e não mais apenas em músculo; (3) a determinação de MT passou a ser realizada em hepatopâncreas e brânquias de caranguejos de praia e mangue, e não mais apenas em hepatopâncreas; e (4) a determinação de LPO passou a ser realizada em hepatopâncreas e brânquias de caranguejos de praia e mangue, e não mais apenas em hepatopâncreas.

### 2.4 ALTERAÇÕES NA MALHA, FREQUÊNCIA AMOSTRAL E ESCOPO REALIZADOS EM OUTUBRO DE 2024: CONSEQUÊNCIAS PARA AS ANÁLISES DA SÉRIE HISTÓRICA DE INDICADORES.

Quando houve a alteração de malha em 2024, algumas estações foram ajustadas, outras removidas e algumas inseridas. Para o ambiente de manguezal, as estações Revis Santa Cruz 1 (RSC1) e Revis Santa Cruz 2 (RSC2) foram removidas, ficando apenas a estação Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM) no Setor A; para o Setor B, foi mantida a estação da foz do Rio Doce em Regência (FRG); para o Setor C, as estações Rio Urussuquara (RUR), Rio Mariricu (RMA), Rio São Mateus (RSM) e Rio Caravelas (RCA) foram removidas, sendo substituídas pelas estações Barra Nova (BN2D) e São Mateus (SM2FE). Para o ambiente de praias, no Setor A, a estação de Aracruz – Refúgio (ARR) foi removida, a estação Aracruz – Putiri foi reajustada (de ARP tornou-se S3), e foi inserida a Praia Formosa (S2); no Setor B, as estações Comboios (DSC), Regência (DSR) e Povoação (DNP) foram substituidas pelas novas estações ReBio Comboios (S6), Regência (S7) e Povoação (N1) e a estação Terra Indígena (S5) foi inserida; no Setor C foram descontinuadas as estações Vila de Cacimbas (DNC), Pontal do Ipiranga (DNPI), Urussuquara (DNU), a estação de Guriri foi reajustada (de DNG tornou-se N5), e foram inseridas as estações de Degredo (N2), Barra Nova (N4) e Itaúnas (N6).

As alterações de malha amostral descritas acima não causaram nenhum impacto significativo nas avaliações temporais e espaciais realizadas no âmbito do Tema Ecotoxicologia. Cabe destacar que todos os parâmetros anteriormente avaliados tiveram continuidade e todos os indicadores relativos à Ecotoxicologia continuam sendo calculados, analisados, integrados e discutidos.

## 3 RESULTADOS DOS INDICADORES

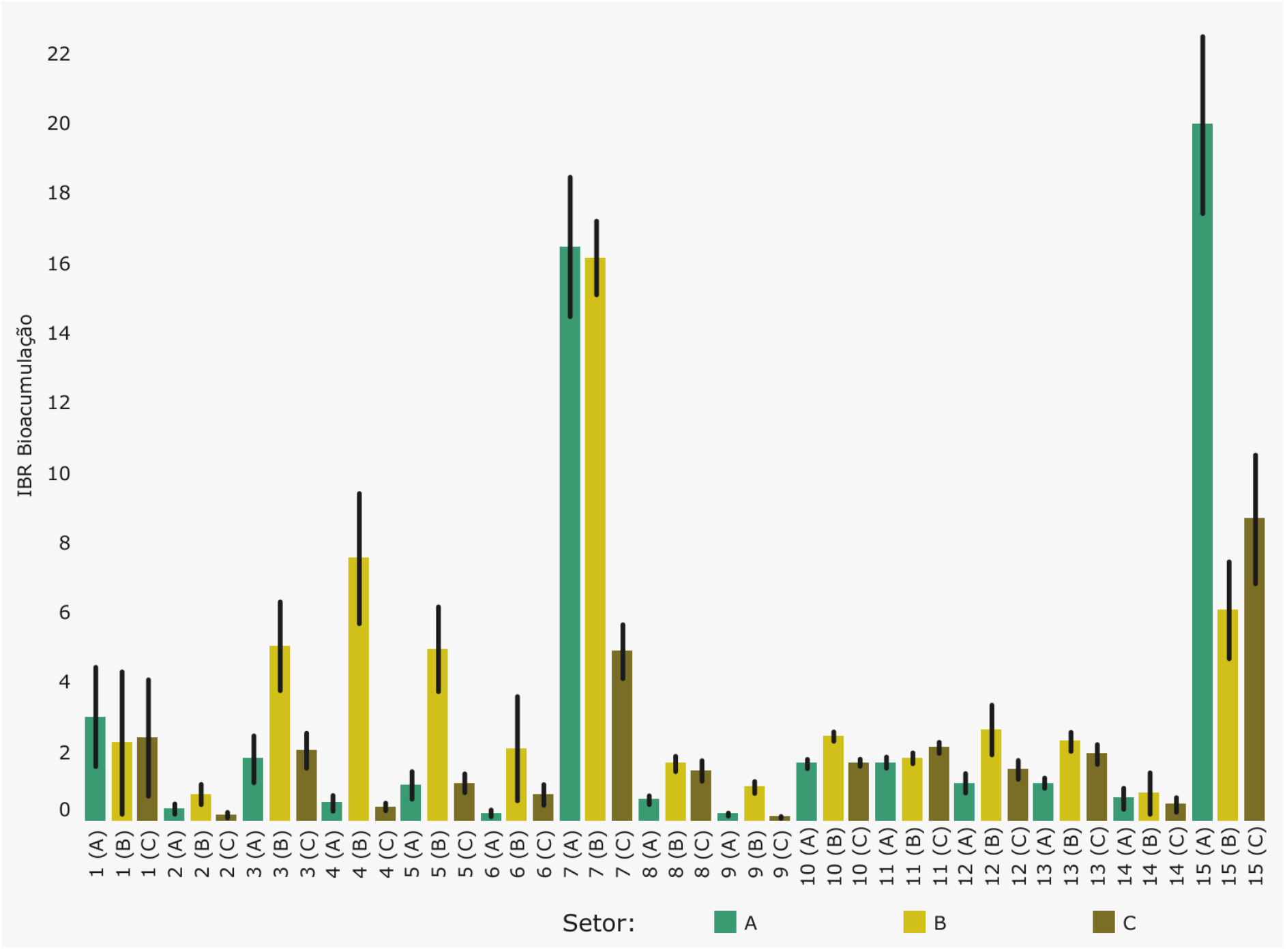
Nesta seção serão apresentados os resultados dos indicadores de qualidade ambiental e da biodiversidade aquática do Tema, os quais foram desenvolvidos pelo PMBA/Fest-UFES e obtidos ao

longo de todo monitoramento na área ambiental I. Vale ressaltar que, os indicadores aqui apresentados têm como propósito clarificar e sintetizar a historicidade dos resultados, interpretação e conclusões do monitoramento, promovendo o acompanhamento espaço-temporal da qualidade ambiental e biodiversidade, além de configurarem importantes ferramentas de suporte aos gestores ambientais. A partir destes indicadores, pode-se identificar os impactos com relação direta ou indireta ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG).

Os indicadores do PMBA/Fest-UFES vêm se consolidando ao longo do monitoramento e, seguindo a proposta estabelecida desde o Relatório Anual de 2022 (RA2022), a apresentação dos resultados será exclusivamente a partir da apresentação dos indicadores, acompanhados de legenda estendida com a explicação de sua variação espaço-temporal de forma mais direta e objetiva.

## 3.1 ÍNDICE DE BIOACUMULAÇÃO (*IBR BIOACUMULAÇÃO*)

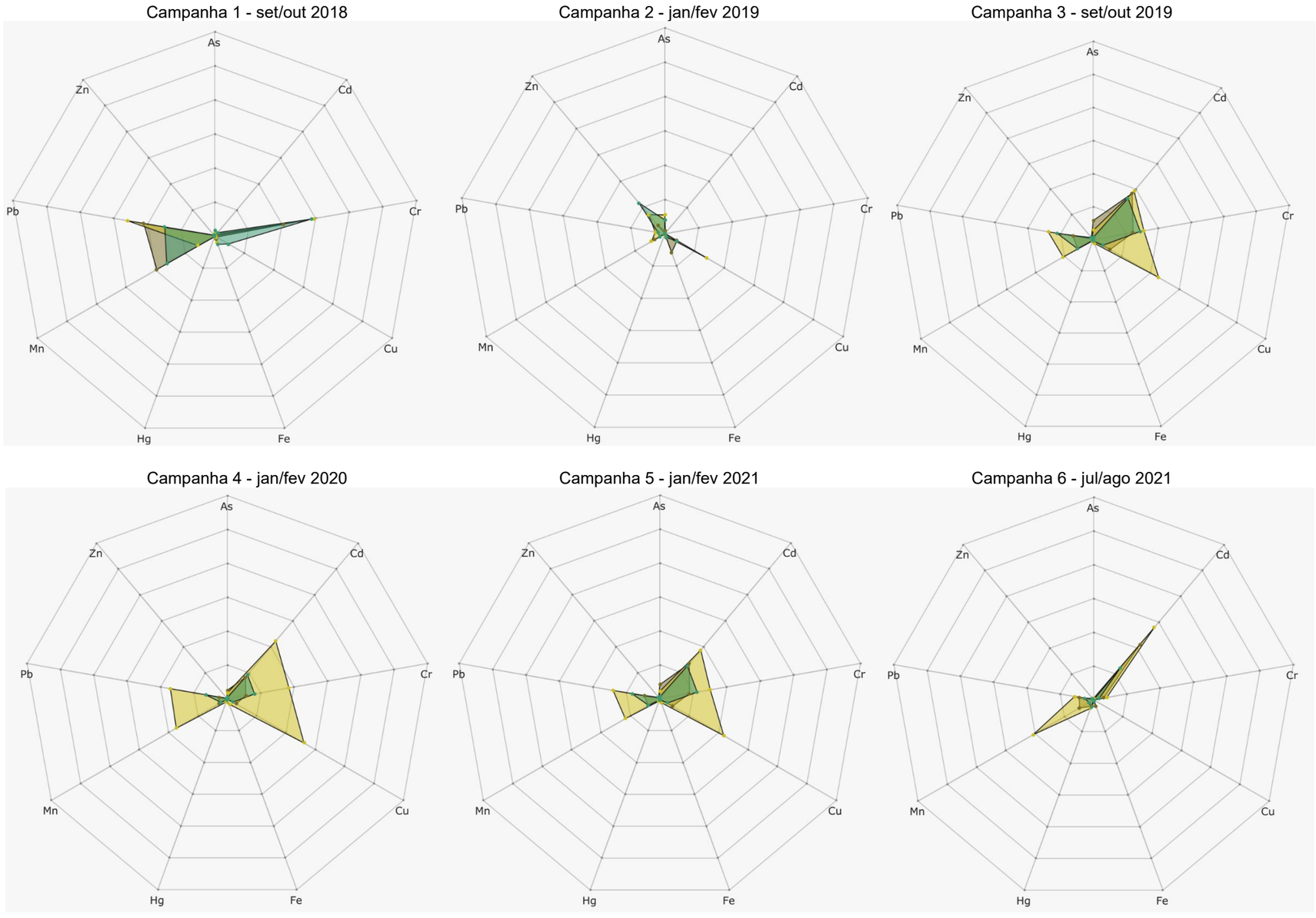
Figura 1: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de caranguejos do manguezal coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco ), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devido a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1 – até a Campanha 12), Revis Santa Cruz 2 (RSC2 – até a Campanha 12) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR – até a Campanha 12), Rio Mariricu (RMA – até a Campanha 12), Rio São Mateus (RSM – até a Campanha 12), Rio Caravelas (RCA – até a Campanha 12), Barra Nova (BN2D – a partir da Campanha 13) e São Mateus (SM2FE – a partir da Campanha 13)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



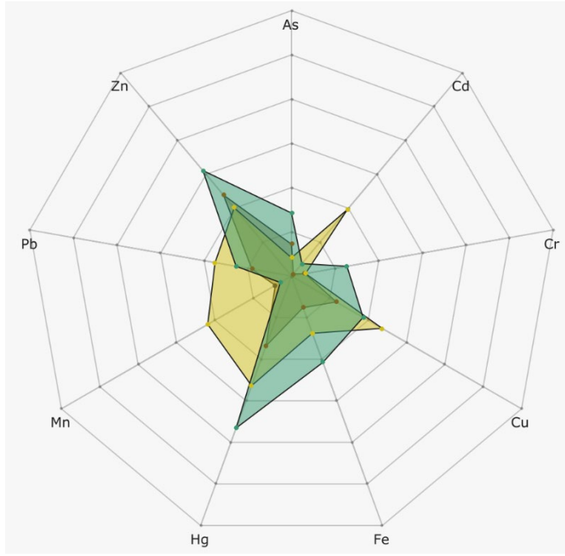

O gráfico de barras dos valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação), gerado para cada Setor e cada Campanha (Figura 1), permite realizar comparações das tendências espaço-temporais da bioacumulação de metais e As no caranguejo do manguezal, ao longo de todo o monitoramento. O IBR Bioacumulação integra os níveis de contaminação de diferentes órgãos/tecidos pelos metais e As, originando assim um indicativo/valor sintético e holístico do estado de "saúde" dos organismos analisados. Os caranguejos, por terem um hábito alimentar detritívoro e estarem em constante contato com o sedimento, são sensíveis a contaminação por metais (Pinheiro et al., 2012).

De modo geral, a partir da análise da Figura 1, observa-se que, na maioria das Campanhas, os maiores valores de IBR Bioacumulação foram obtidos para as amostras coletadas no Setor B, com exceção da Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), nas quais os maiores valores de IBR Bioacumulação foram obtidos para as amostras coletadas no Setor A. Na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), o maior valor do IBR Bioacumulação foi observado no Setor C, apesar da diferença entre Setores ter sido discreta. A Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e, sobretudo, a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) se destacaram por apresentar os valores máximos de IBR Bioacumulação para todos os Setores analisados, ao longo de todo o período de monitoramento. Devido a dinâmica dos metais e do As nos ambientes aquáticos ser afetada por vários fatores físico-químicos da água e do sedimento, os mesmos, eventualmente, ora estão na fase aquosa, onde são mais biodisponíveis, ora encontram-se associados aos sedimentos, quando se tornam menos biodisponíveis (Spetter et al., 2015). Portanto, pode-se inferir que, nestas Campanhas, os metais e o As estavam mais biodisponíveis para serem acumulados pelos caranguejos do manguezal. Esta maior biodisponibilidade pode estar associada a um maior aporte continental de contaminantes depositados ao longo da calha do Rio Doce durante a maior vazão observada no período de execução destas Campanhas (Ferreira et al., 2024).

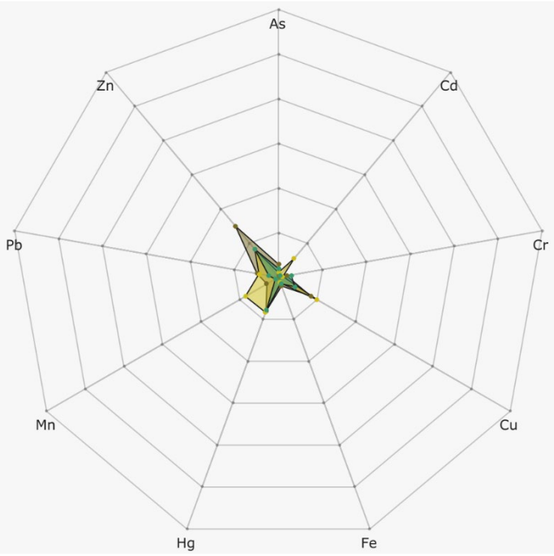
Figura 2: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de caranguejos do manguezal coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco ), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais considerados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1 – até a Campanha 12), Revis Santa Cruz 2 (RSC2 – até a Campanha 12) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR – até a Campanha 12), Rio Mariricu (RMA – até a Campanha 12), Rio São Mateus (RSM – até a Campanha 12), Rio Caravelas (RCA – até a Campanha 12), Barra Nova (BN2D – a partir da Campanha 13 e São Mateus (SM2FE – a partir da Campanha 13)].



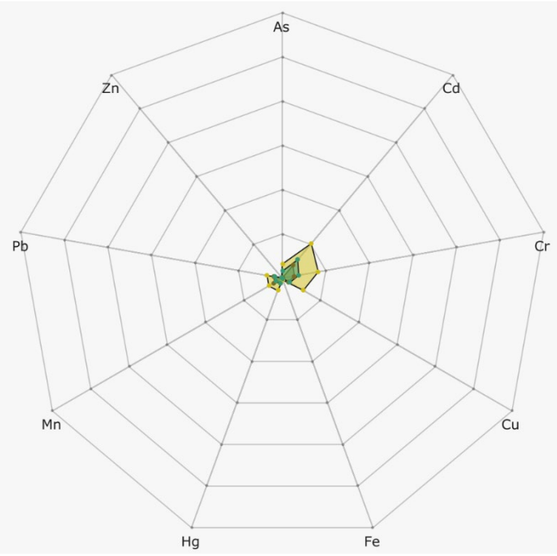
Campanha 7 - mar 2022



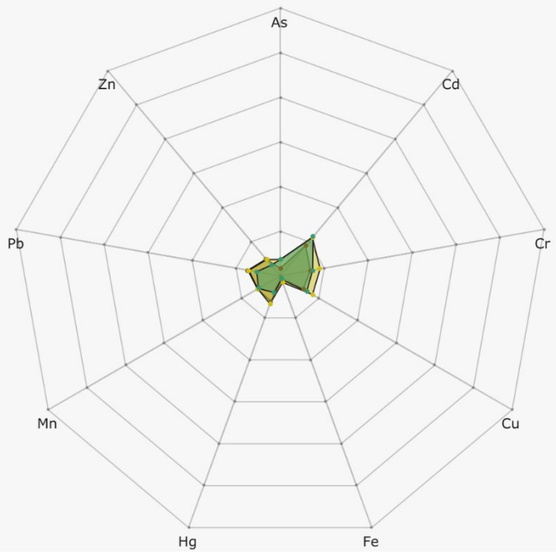

Campanha 8 - set/out 2022



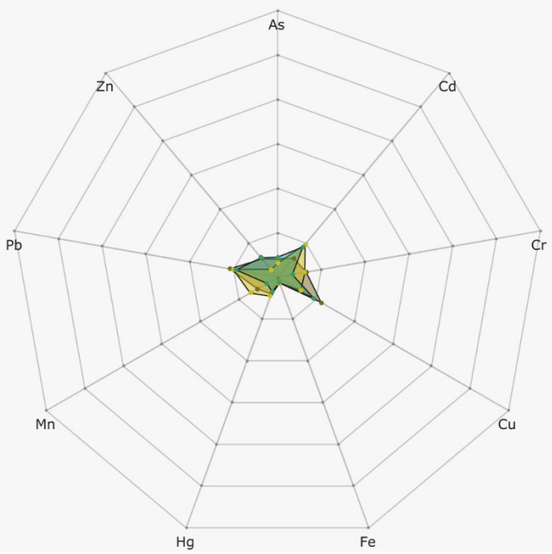

Campanha 9 – jan/fev 2023



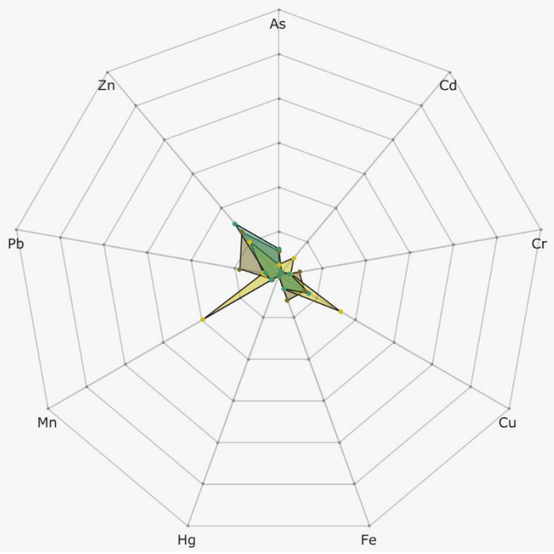

Campanha 10 - jun/jul 2023




Campanha 11 - jan 2024

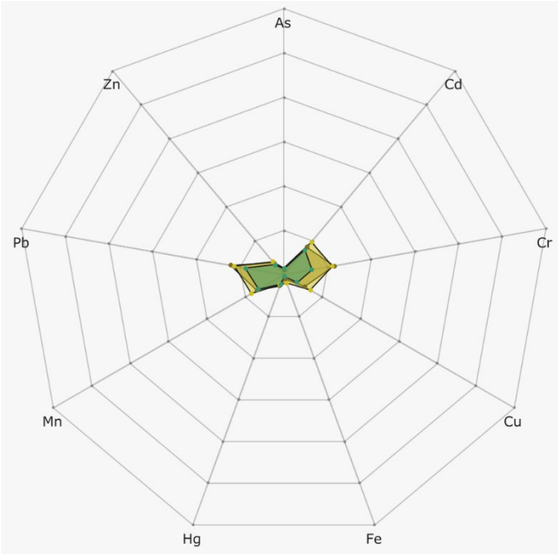



Campanha 12 – jul 2024

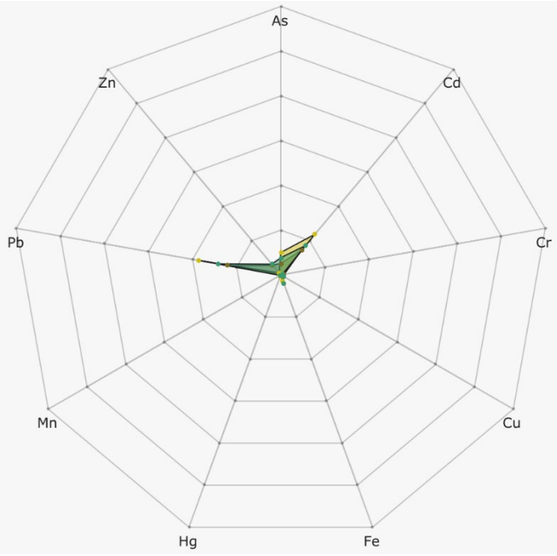



Setor: Setor A Setor B Setor C

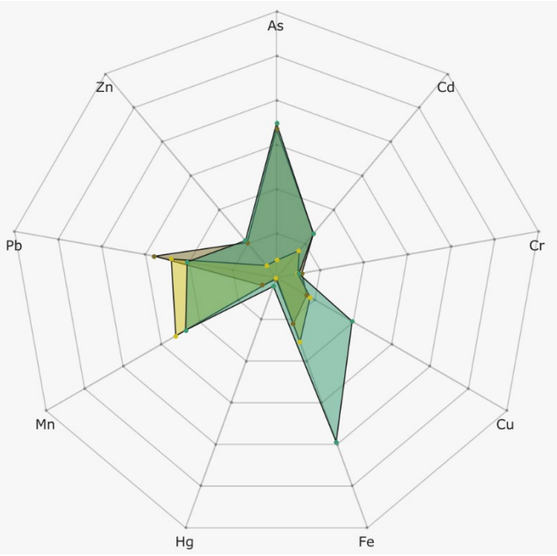
Campanha 13 - jan/fev 2025



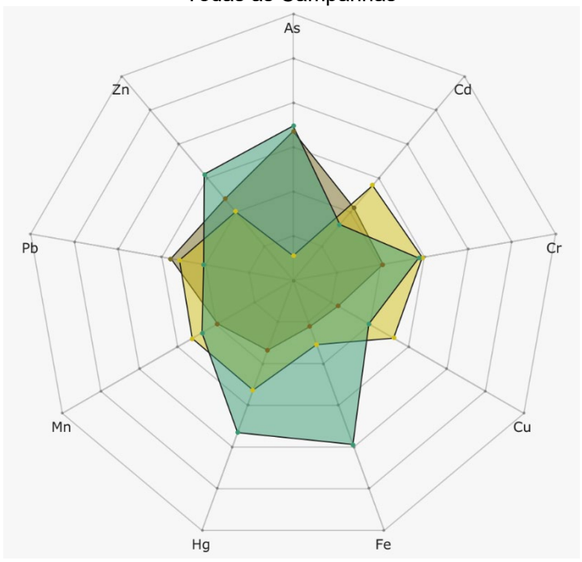

Campanha 14 - jul 2025




Campanha 15 – jan/fev 2026




Todas as Campanhas






Os gráficos de radar apresentados na Figura 2 foram obtidos a partir do IBR Bioacumulação de metais e As de cada Setor avaliado e de cada Campanha realizada. Estes gráficos mostram a variação espaço-temporal da bioacumulação de cada metal e do As no caranguejo do manguezal e a contribuição destes para a composição do IBR Bioacumulação. Nota-se que a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) foi a primeira Campanha onde picos nos valores de IBR Bioacumulação foram observados, em todos os Setores avaliados. Além disso, observa-se que todos os elementos analisados contribuíram para a formação do índice nesta Campanha. Os elementos mais relevantes para a composição do IBR Bioacumulação no Setor A foram, em ordem decrescente de importância, o Hg, Zn, Fe, Cu, As e, em menor grau, Pb e Cr. Em relação ao Setor B, o destaque foi para o Cd, Cu, Hg, Mn, e Zn, com menores contribuições do As e Cr. Por fim, no IBR Bioacumulação no Setor C, as maiores contribuições foram do Zn, Hg, Cu e As. Dentre os elementos que apresentaram uma maior contribuição para a composição do IBR Bioacumulação na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), observou-se que o Zn, Hg, e Cu foram contaminantes comuns aos três Setores avaliados.

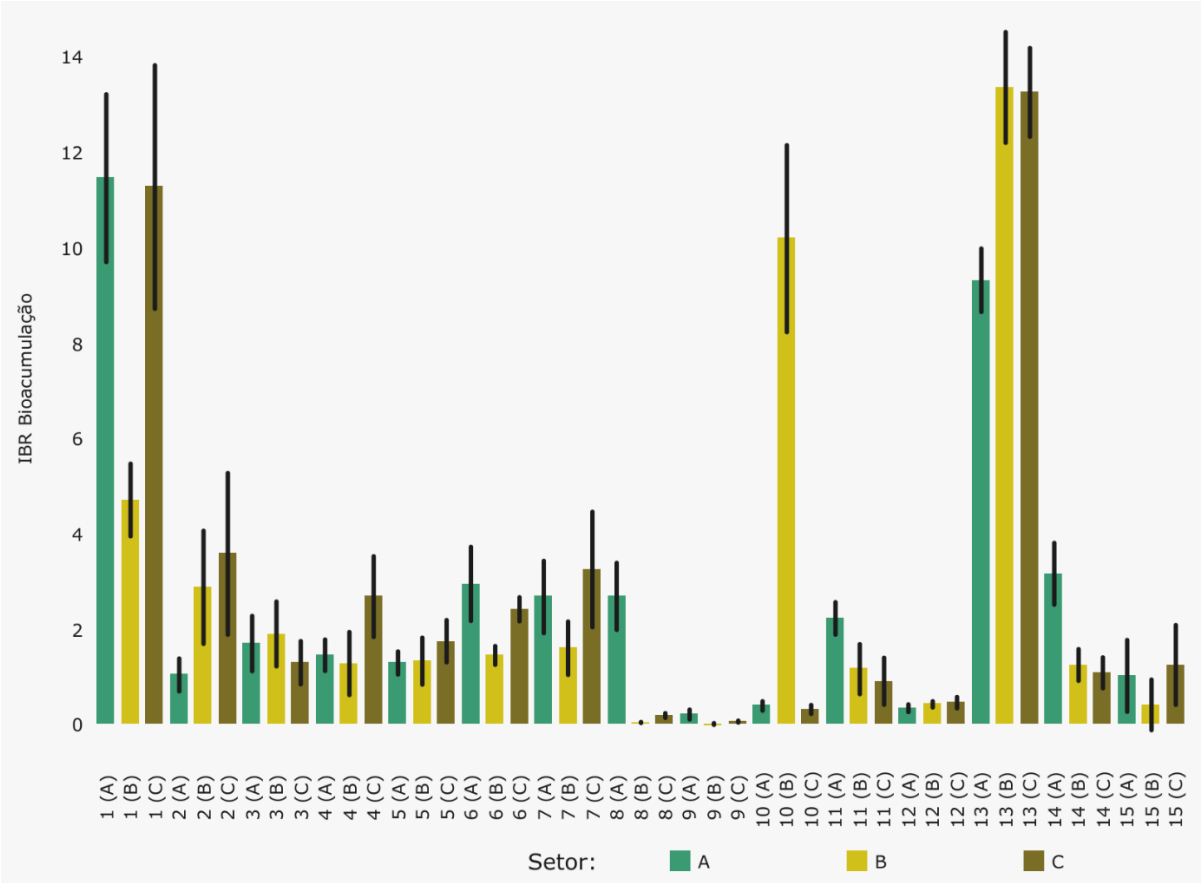
A Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco) e Campanha 14 (jul 2025 – período seco) apresentaram o menor número de contaminantes presentes na composição dos seus respectivos valores de IBR Bioacumulação. Na Campanha 1, o Pb, Mn e Cr foram contaminantes relevantes em todos os Setores avaliados. Já na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), o Cd se destacou na composição do IBR Bioacumulação em todos os Setores avaliados, enquanto o Mn foi mais relevante na composição do índice no Setor B. Na Campanha 14 (jul 2025 – período seco), Cd e Pb foram elementos com importante contribuição para os índices em todos os Setores.

Entre a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e a Campanha 13 (jan/fev 2025), os valores do IBR Bioacumulação mantiveram-se relativamente estáveis, com discretas oscilações. Apesar disto, a contribuição dos elementos diferiu. Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Cd, Cr e Cu foram os principais metais que contribuíram para a composição do valor do índice. Na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), além destes elementos, Hg, Mn e Pb também tiveram importância na composição do valor do IBR Bioacumulação. Os metais Cd, Cr, Cu e Pb foram os que mais contribuiram para a composição do valor do índice na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), com menor contribuição do As, Cr, Hg, Mn e Zn. Na Campanha 12, a contribuição dos elementos para o IBR diferiu entre os Setores, com destaque para o Mn no Setor B e Fe e Pb no Setor C. Na Campanha 13 (jan/fev 2025), o padrão de contribuição dos metais para a composição do valor do IBR Bioacumulação foi semelhante entre os Setores amostrados, com principal contribuição de Pb, Cr, Cd, Cu e Mn. O aumento expressivo do valor do IBR Bioacumulação na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) teve contribuição considerável do As para os Setores A e C, bem como do Fe para o Setor A. Por sua vez, a composição do valor do índice no Setor B foi principalmente associada ao Mn. Cabe destacar que o Pb também teve importante contribuição na composição dos valores do IBR Bioacumulação de todos os Setores.

Considerando-se todas as Campanhas em conjunto, os contaminantes que mais contribuíram, em ordem decrescente de importância, para a composição do valor do IBR Bioacumulação nos caranguejos de mangue coletados no Setor A foram o As, Fe, Hg, Zn e Cr, com destaque para os três primeiros. No caso dos caranguejos de mangue coletados no Setor B, os contaminantes que mais contribuíram para a composição do valor do índice foram o Pb, Cr, Cu, Cd, Fe, Hg e Mn. Estes elementos, exceto o Cu, também contribuíram de forma significativa para a composição do valor do IBR Bioacumulação dos caranguejos coletados no Setor C. Cabe ressaltar que, para os caranguejos coletados nestes dois Setores (B e C), o Pb apresentou uma importância destacada na composição do IBR Bioacumulação.

Considerando-se todos os Setores em conjunto, foi observado que todos os contaminantes estiveram presentes na composição do IBR Bioacumulação dos caranguejos de mangue, ao longo de todo o monitoramento. Os contaminantes que mais contribuíram na composição do índice nos três Setores avaliados ao longo de todo o monitoramento foram o Cr, Fe e Hg. Especificamente para o Setor A e C, o As também teve importante contribuição. É importante ressaltar que As e Hg são considerados elementos altamente tóxicos, mesmo em pequenas concentrações (Lokeshappa et al., 2012; Selvi et al., 2019). Por outro lado, o Cr e Fe são considerados micronutrientes, ou seja, elementos importantes para a saúde dos organismos vivos em concentrações traços, porém são tóxicos em concentrações elevadas. Cabe destacar que concentrações elevadas/excessivas destes elementos foram observadas em diversas ocasiões (Campanhas) ao longo do monitoramento realizado, sugerindo assim um potencial risco para os caranguejos de mangue.

Figura 3: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR – até a Campanha 12), Aracruz – Putiri (ARP – até a Campanha 12 e S3 – a partir da Campanha 13) e Praia Formosa (S2 – a partir da Campanha 13)]; Setor B [Comboios (DSC – até a Campanha 12, S6 – a partir da Campanha 13), Regência (DSR – até a Campanha 12, S7 - a partir da Campanha 13), Povoação (DNP – até a Campanha 12, N1 – a partir da Campanha 13) e Terra Indígena (S5 – a partir da Campanha 13)], Setor C [Vila de Cacimbas (DNC – até a Campanha 12), Pontal do Ipiranga (DNPI – até a Campanha 12), Urussuquara (DNU – até a Campanha 12), Guriri (DNG – até a Campanha 12 e N5 – a partir da Campanha 13), Degredo (N2 – a partir da Campanha 13), Barra Nova (N4 – a partir da Campanha 13) e Itaúnas (N6 – a partir da Campanha 13)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.

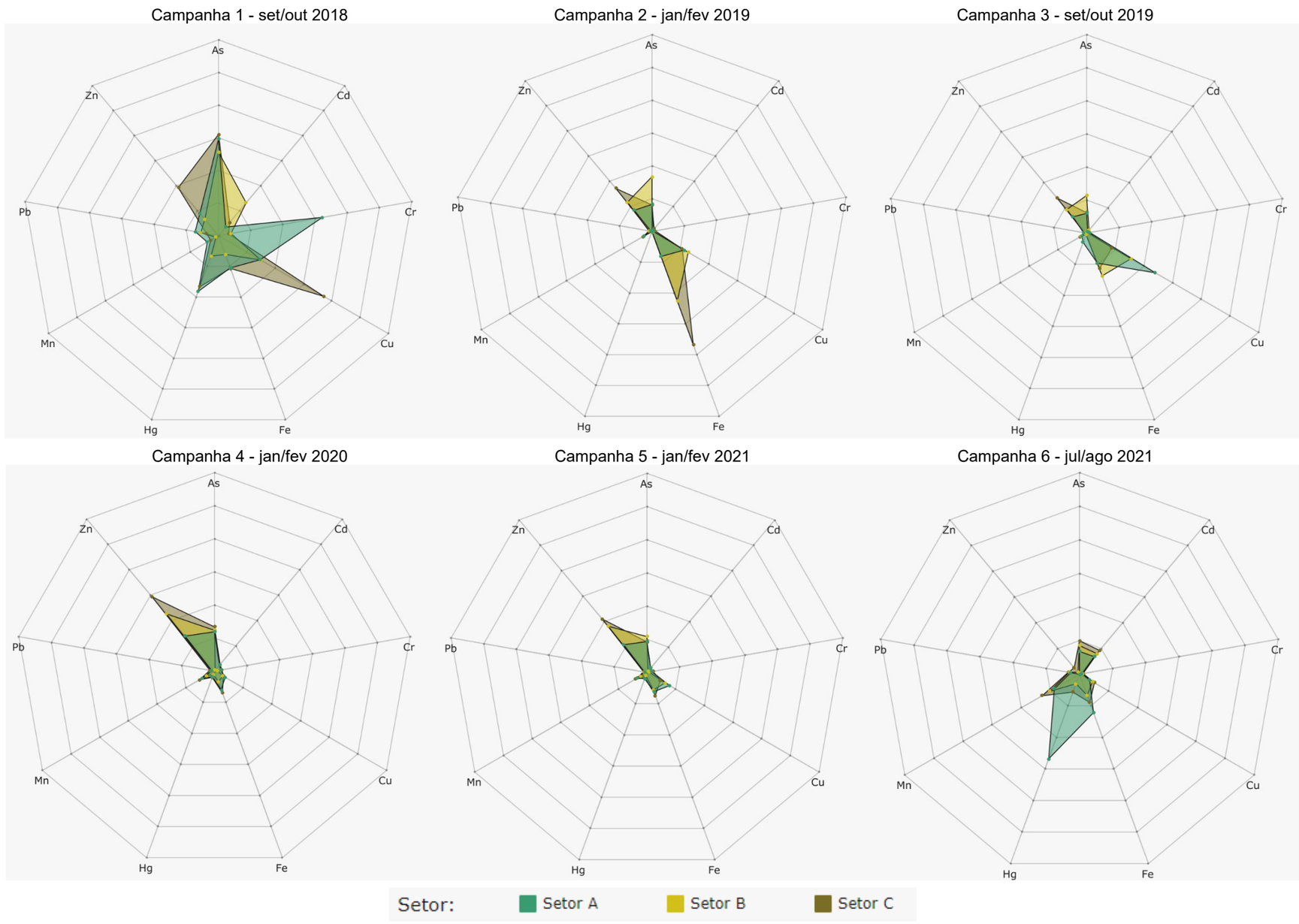



Observa-se na Figura 3 que os valores do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) obtidos para os pequenos invertebrados da praia coletados entre a Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso) e a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) (com tendência de estabilização ao longo das mesmas) nos três Setores avaliados apresentam uma redução em relação

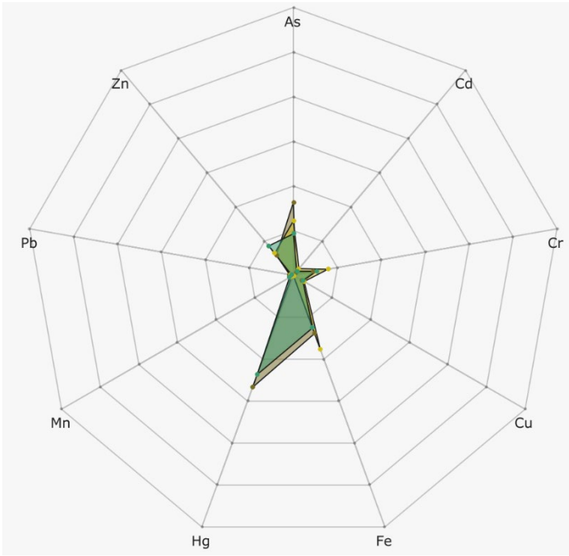
àqueles observados na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco). Entre a Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) – exceto o Setor A - e a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), bem como na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), observou-se uma redução ainda mais considerável nos valores do IBR Bioacumulação para os organismos coletados nos Setores A, B e C, em relação àqueles observados nas Campanhas anteriores. Na Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), houve um aumento significativo no IBR Bioacumulação dos invertebrados de praia no Setor B apenas. Na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), observa-se novamente um aumento dos valores do IBR Bioacumulação para os Setores A e C, porém estes sendo menores que os valores anteriormente observados. Este aumento foi seguido de uma nova redução nos valores do índice na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), tendo sido observada uma diminuição semelhante para todos os Setores avaliados. Finalmente, um expressivo aumento no IBR Bioacumulação em todos os Setores foi observado na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), consistindo num valor para o Setor A semelhante àquele observado no início do monitoramento  e nos maiores valores calculados ao longo do período amostral para os Setores B e C. Finalmente, os valores do índice nas últimas Campanhas (Campanha 14: jul 2025 – período seco e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso) apresentaram uma tendência de redução, especialmente para os Setores A e B, os quais tiveram um decréscimo sequencial nestas Campanhas .

Todos os invertebrados da praia analisados são considerados consumidores primários e estão suscetíveis à bioacumulação de metais e As através de diferentes rotas de contaminação, seja quando em contato com a água e/ou o sedimento, bem como por meio da transferência trófica, ao consumirem os produtores primários contaminados (Saidon et al., 2024). Ao longo do período de monitoramento, a bioacumulação de metais e As nos pequenos invertebrados da praia destacou-se, de uma forma geral, nos Setores A e/ou C, à exceção da Campanhas 10 (jun/jul 2023 - período seco) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), onde ocorreram picos nos valores do IBR Bioacumulação nos organismos coletados no Setor B. No entanto, de maneira geral, todos os Setores tiveram um aumento expressivo nesta Campanha. Vale lembrar que os Setores A e C são aqueles onde ocorre a maior deposição do material e contaminantes oriundos da drenagem da Bacia do Rio Doce, ao sul (Setor A) e ao norte (Setor C) da foz desse rio, como resultado das forçantes meteorológicas e oceanográficas vigentes na desembocadura do Rio Doce (RRDM, 2022). Por serem considerados organismos passíveis de bioacumulação de metais e As, os resultados observados refletem, portanto, uma contaminação ambiental por estes elementos nos Setores e Campanhas de coleta em questão.

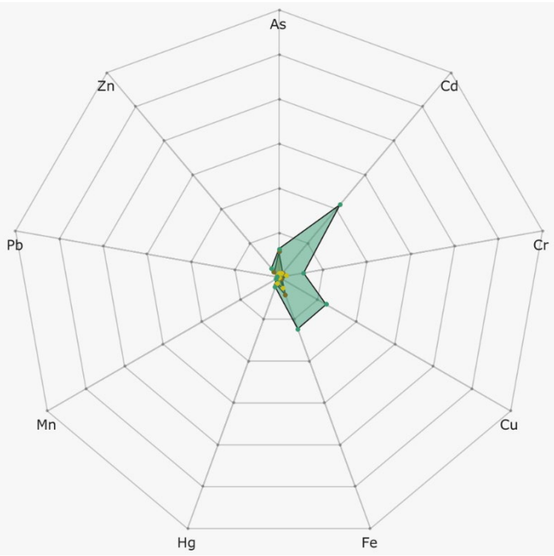
Figura 4: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco ), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais considerados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR – até a Campanha 12), Aracruz – Putiri (ARP – até a Campanha 12 e S3 - a partir da Campanha 13) e Praia Formosa (S2 – a partir da Campanha 13)]; Setor B [Comboios (DSC – até a Campanha 12, S6 – a partir da Campanha 13), Regência (DSR – até a Campanha 12, S7 – a partir da Campanha 13), Povoação (DNP – até a Campanha 12, N1 a partir da Campanha 13) e Terra Indígena (S2 – a partir da Campanha 13)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC – até a Campanha 12), Pontal do Ipiranga (DNPI – até a Campanha 12), Urussuquara (DNU – até a Campanha 12), Guriri (DNG – até a Campanha 12 e N5 – a partir da Campanha 13), Degredo (N2 – a partir da Campanha 13), Barra Nova (N4 – a partir da Campanha 13) e Itaúnas (N6 – a partir da Campanha 13)].



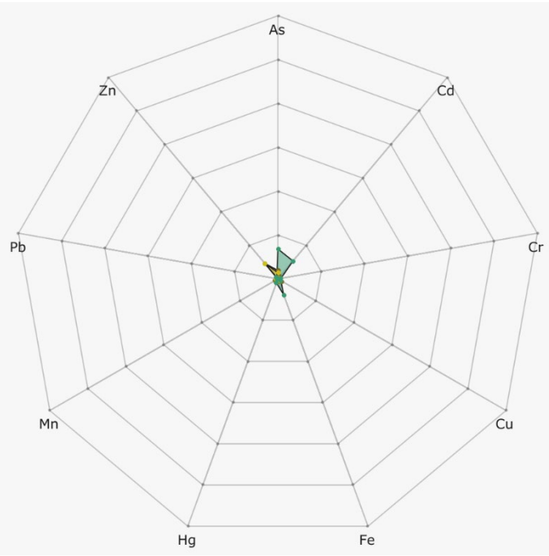
Campanha 7 - mar 2022



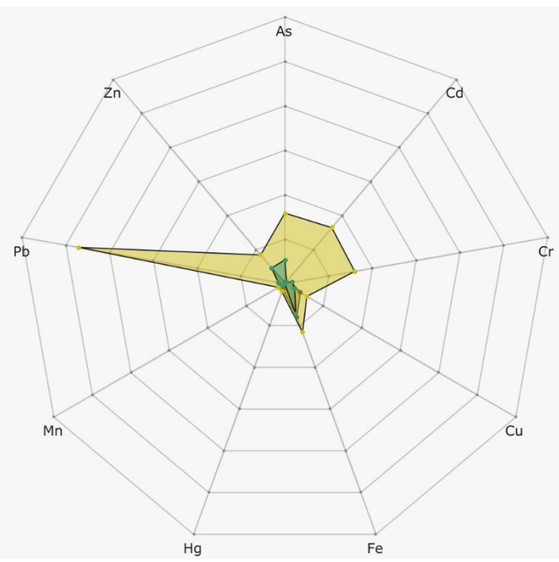

Campanha 8 - set/out 2022



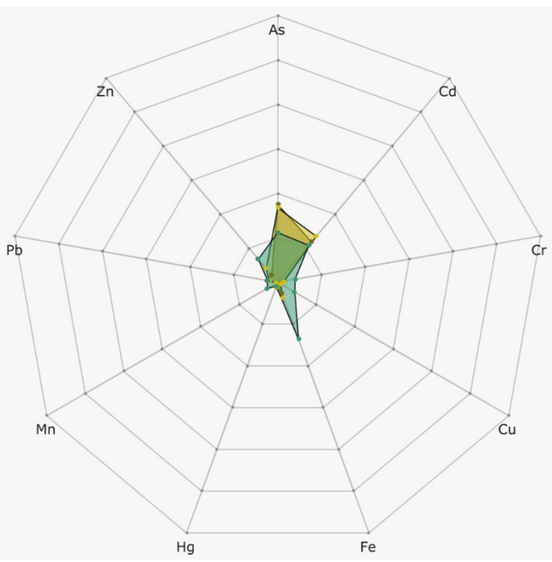

Campanha 9 – jan/fev 2023



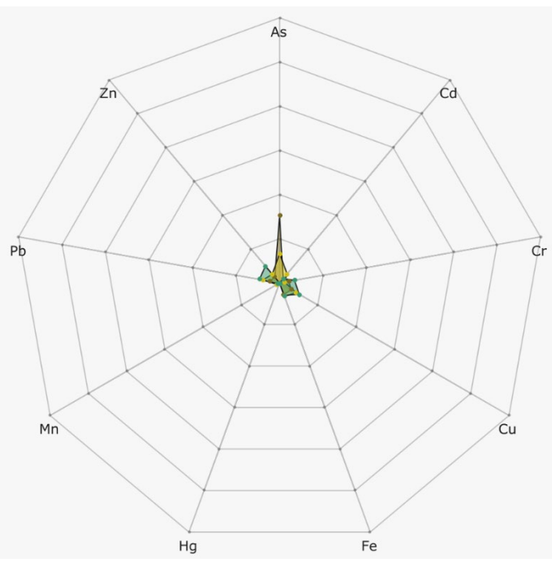

Campanha 10 - jun/jul 2023




Campanha 11 - jan 2024

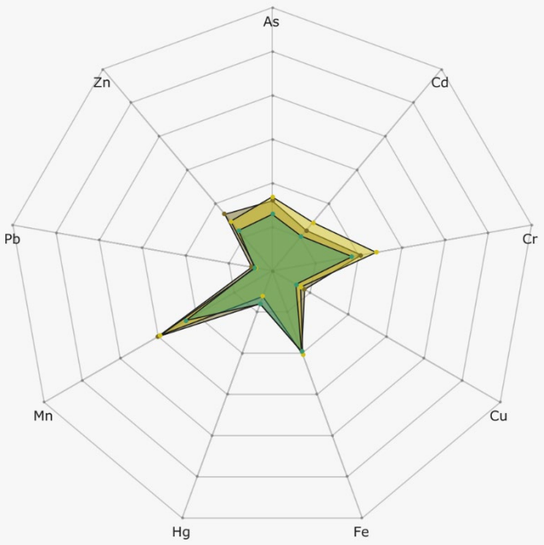



Campanha 12 – jul 2024

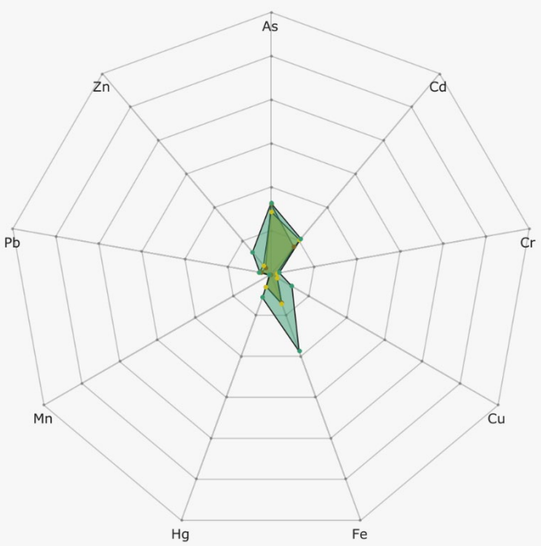




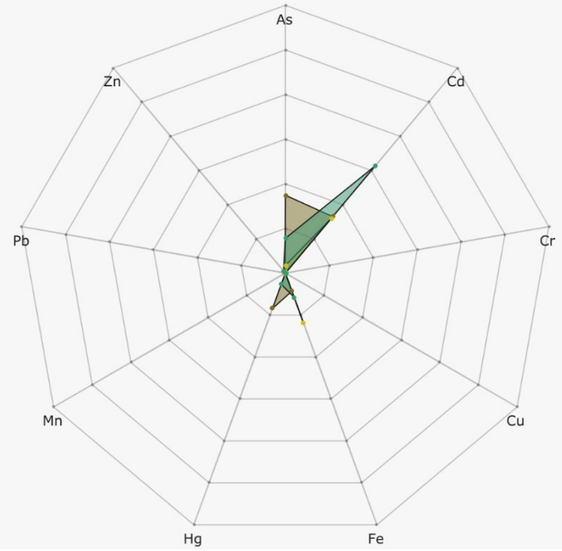

Campanha 13 - jan/fev 2025



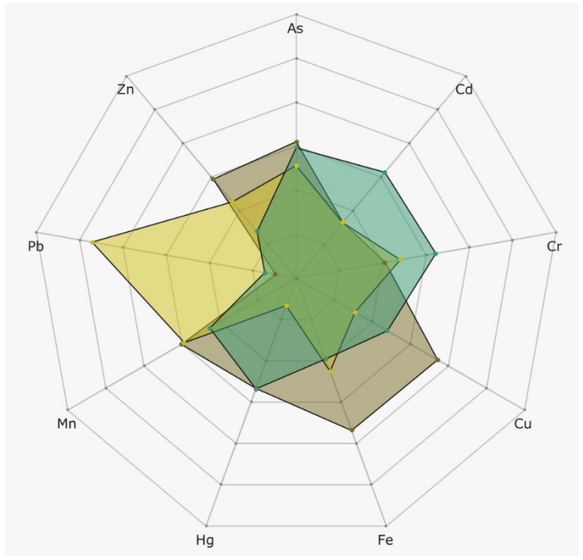

Campanha 14 - jul 2025

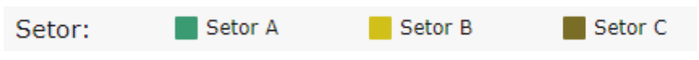



Campanha 15 – jan/fev 2026




Todas as Campanhas



Os gráficos de radar apresentados na Figura 4 mostram que a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e a Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) apresentaram a maior diversidade de contaminantes na composição dos valores do IBR Bioacumulação. Na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), o As destaca-se como elemento com contribuição relevante para o cálculo do índice nos três Setores. Além do As, no Setor A destacam-se também os metais Cr e Hg. No Setor B, os metais Cd e Cu foram os elementos que mais contribuíram na composição do valor do IBR Bioacumulação. No Setor C, os elementos que mais contribuíram form o Zn, Cu e Hg. Em relação à Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), a contribuição dos elementos para a composição dos valores do IBR Bioacumulação dos três Setores foi homogênea. Os principais elementos associados com os valores do índice foram o Mn, Fe, Cr, Cd, As e Zn. Na Campanha 10, a composição do valor do IBR Bioacumulação no Setor B  também apresentou uma variedade de elementos, com maior contribuição do Pb, Cd, Cr, As e Fe.

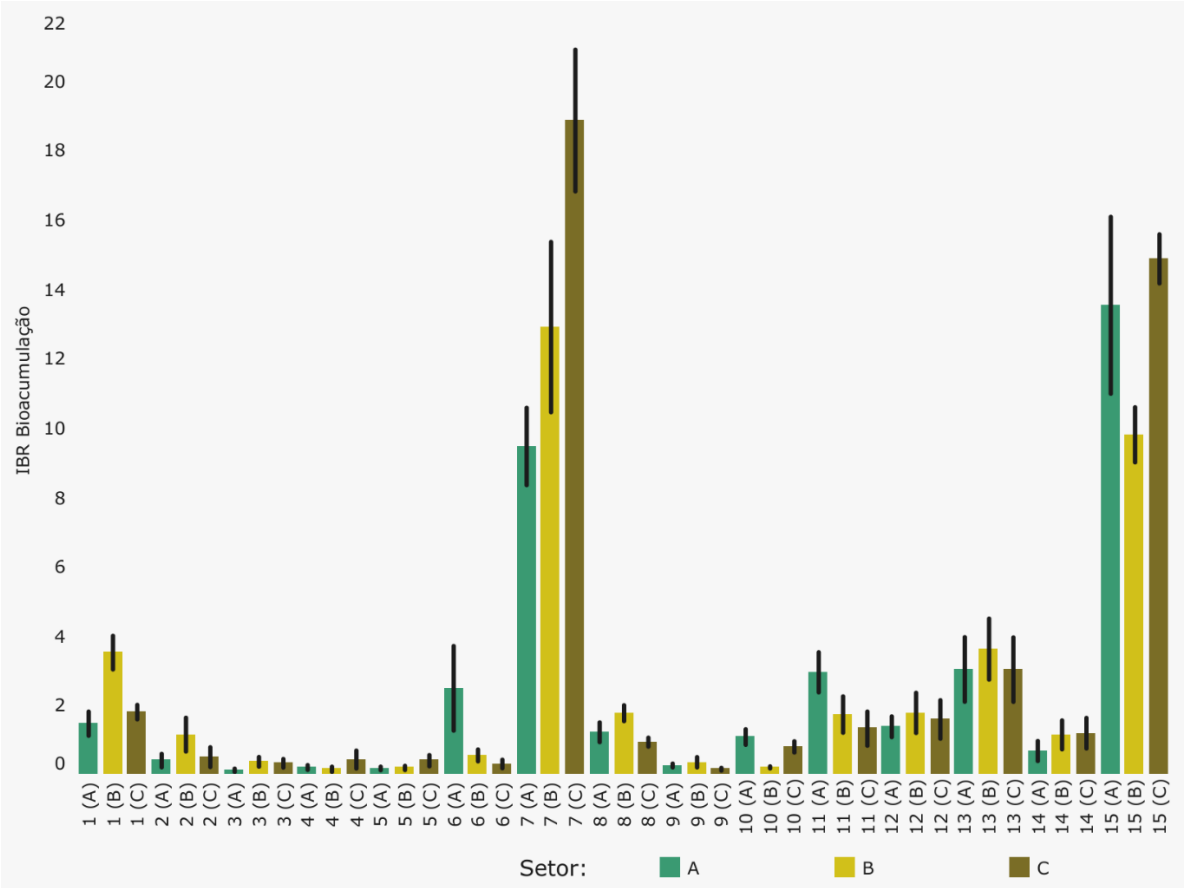
A Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e a Campanha 12 (jul 2024 – período seco) foram aquelas que apresentaram o menor valor do IBR Bioacumulacão, com pouca diversidade de contaminantes compondo o valor do índice. Na Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), os contaminantes que contribuíram para a formação do valor do índice no Setor A foram As, Cd e Fe. Por sua vez, no Setor B e C, apenas Zn, e Zn e As foram presentes, respectivamente. Na Campanha 12 (jul m2024 – período seco), o IBR Bioacumulação do Setor A teve contribuição principal do Zn, Pb e Cu, enquanto o As foi o elemento que mais contribuiu para o índice nos Setores B e C. As últimas Campanhas (Campanha 14: jul 2025 – período seco e Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso) também apresentaram valores médios reduzidos de IBR Bioacumulação, com principal contribuição de As, Cd e Fe em ambas as Campanhas, e também Hg no Setor C, na Campanha 15.

Considerando-se todas as Campanhas em conjunto, os contaminantes que mais contribuíram para a composição do valor do IBR Bioacumulação nos pequenos invertebrados da praia coletados no Setor A foram o Cr, As, Cd, Hg, Mn, Cu e Zn, com destaque para o Cr. No caso dos pequenos invertebrados da praia coletados no Setor B, os contaminantes que mais contribuíram, em ordem decrescente de importância, para a composição do índice foram o Pb, Mn, As, Cr e Fe, com destaque para o Pb. No caso do Setor C, os contaminantes que mais contribuíram, em ordem decrescente de importância, para a composição do IBR Bioacumulação foram o Fe, Cu, Mn, As, Zn, com destaque para os três primeiros.

Considerando-se todos os Setores em conjunto, os contaminantes que apresentaram maior relevância na composição do IBR Bioacumulação dos pequenos invertebrados da praia, ao longo de todo o monitoramento, foram o As, Cr, Mn e Zn, seguidos do Cu e Fe. Dentre eles, Cr, Cu, Fe, Mn e Zn são considerados micronutrientes, ou seja, são importantes para a saúde dos organismos vivos em concentrações traços, porém são tóxicos em concentrações elevadas. Cabe destacar que, estes elementos ocorreram em concentrações consideradas excessivas em diversos períodos (Campanhas) e locais de amostragem ao longo do período de monitoramento, especialmente nos períodos chuvosos. Por sua vez, o metaloide As é considerado como sendo altamente tóxico, mesmo em pequenas concentrações (Lokeshappa et al., 2012; Selvi et al., 2019). Vale destacar que, assim como observado

para os caranguejos de mangue, houve uma destacada contribuição do Pb para a composição do valor do IBR Bioacumulação dos pequenos invertebrados da praia coletados no Setor B, metal este que é considerado altamente tóxico (Lokeshappa et al., 2012; Selvi et al., 2019).

Figura 5: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de caranguejos da praia coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR – até a Campanha 12), Aracruz – Putiri (ARP – até a Campanha 12 e S3 – a partir da Campanha 13) e Praia Formosa (S2 – a partir da Campanha 13)]; Setor B [Comboios (DSC – até a Campanha 12, S6 – a partir da Campanha 13), Regência (DSR – até a Campanha 12, S7 – a partir da Campanha 13), Povoação (DNP – até a Campanha 12, N1 a partir da Campanha 13) e Terra Indígena (S5 – a partir da Campanha 13)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC – até a Campanha 12), Pontal do Ipiranga (DNPI – até a Campanha 12), Urussuquara (DNU – até a Campanha 12), Guriri (DNG – até a Campanha 12 e N5 – a partir da Campanha 13), Degredo (N2 – a partir da Campanha 13), Barra Nova (N4 – a partir da Campanha 13) e Itaúnas (N6 – a partir da Campanha 13)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.

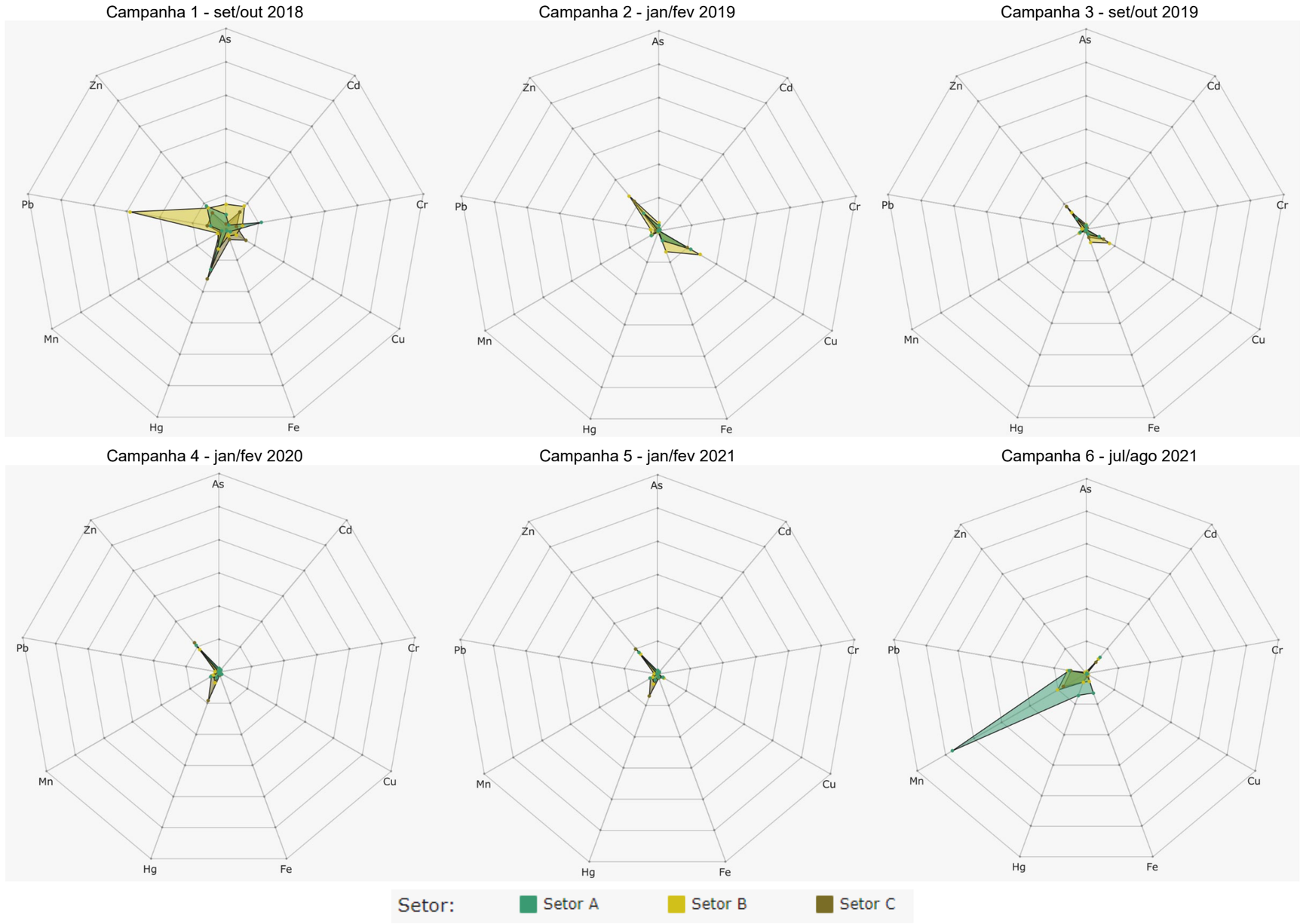



Em relação à comparação temporal feita a partir da avaliação do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) para caranguejos da praia, durante todas as Campanhas do monitoramento, é possível observar na Figura 5 que há um pico no valor deste índice na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), similar ao observado para os caranguejos de mangue, com destaque para o Setor C. A partir da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), os valores do índice diminuíram consideravelmente em todos os Setores avaliados e demonstraram uma tendência de estabilização até a Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco). Porém, foi observado novamente um aumento discreto

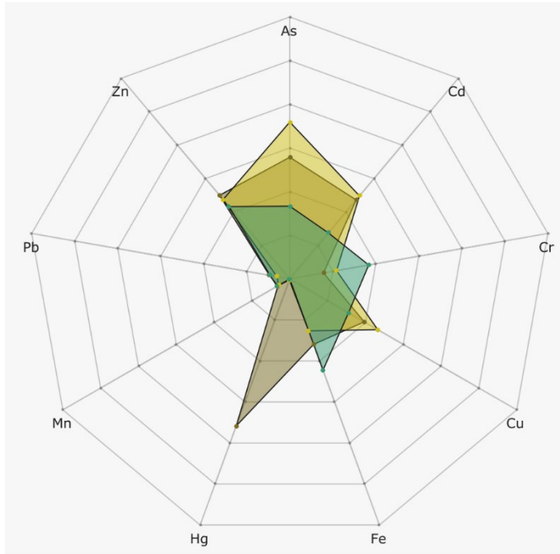
nos valores deste índice na Campanhas 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvo) para todos os Setores avaliados. Na Campanha seguinte (Campanha 14: jul 2025 – período seco), houve um declínio nos valores do índice, os quais sofreram novamente um aumento expressivo na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), com destaque para o IBR Bioacumulação nos Setores A e C.

Quando os valores do IBR Bioacumulação de caranguejos da praia (Figura 5) são comparados com aqueles obtidos para os pequenos invertebrados da praia (Figura 3), verifica-se que até a Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco) e, novamente, na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), os pequenos invertebrados da praia foram mais suscetíveis à bioacumulação de metais e As, já que seus valores de IBR Bioacumulação foram relativamente mais altos, à exceção na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). Nesta Campanha, os resultados obtidos para os caranguejos da praia sugerem uma maior contaminação por metais e As em todos os Setores do ambiente de praia avaliados (Setores A, B e C). Além disso, a dissimilaridade nos valores do IBR Bioacumulação entre os caranguejos e os pequenos invertebrados da praia pode estar relacionada às diferenças nos hábitos alimentares, habitats, metabolismos e ciclos de vida dos grupos de organismos analisados (Chojnacka & Mikulewicz, 2024; Feng et al., 2020).

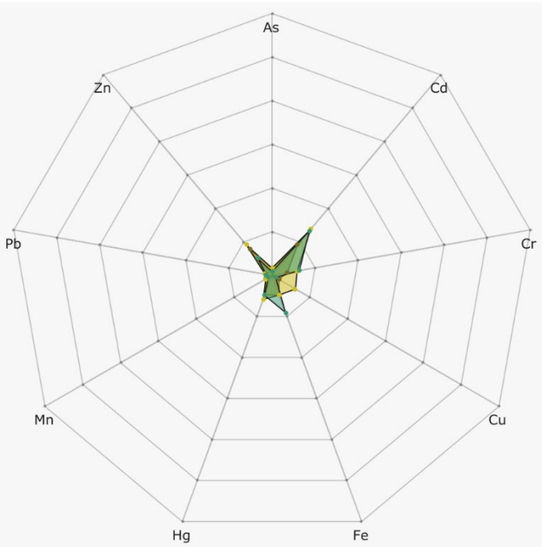
Figura 6: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) de caranguejos da praia coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco ), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais considerados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR – até a Campanha 12), Aracruz – Putiri (ARP – até a Campanha 12 e S3 – a partir da Campanha 13) e Praia Formosa (S2 – a partir da Campanha 13)]; Setor B [Comboios (DSC – até a Campanha 12, S6 – a partir da Campanha 13), Regência (DSR – até a Campanha 12, S7 – a partir da Campanha 13), Povoação (DNP – até a Campanha 12, N1 – a partir da Campanha 13) e Terra Indígena (S5 - partir da Campanha 13)]e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC – até a Campanha 12), Pontal do Ipiranga (DNPI – até a Campanha 12), Urussuquara (DNU – até a Campanha 12), Guriri (DNG – até a Campanha 12 e N5 – a partir da Campanha 13), Degredo (N2 – a partir da Campanha 13), Barra Nova (N4 – a partir da Campanha 13) e Itaúnas (N6 – a partir da Campanha 13)].



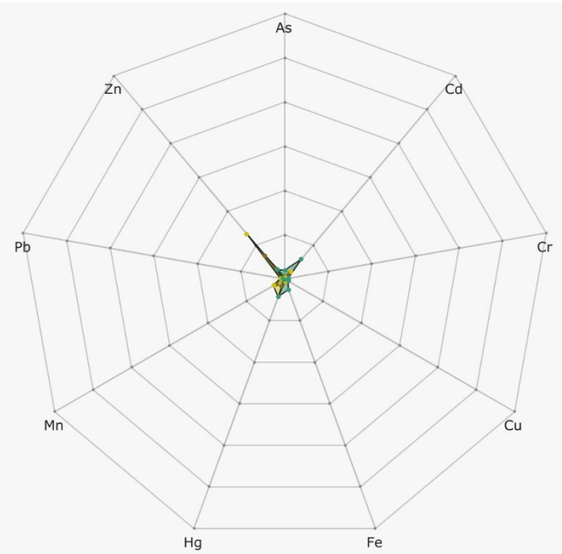
Campanha 7 - mar 2022



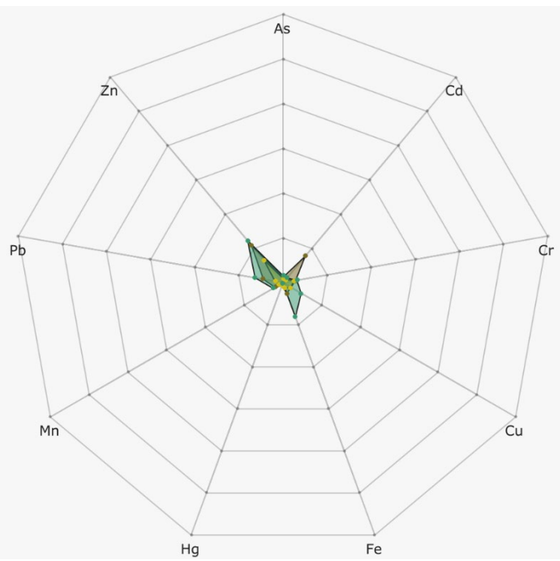

Campanha 8 - set/out 2022



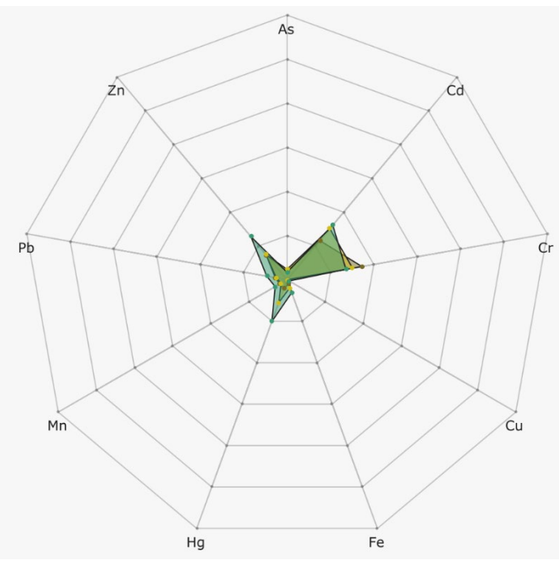

Campanha 9 – jan/fev 2023



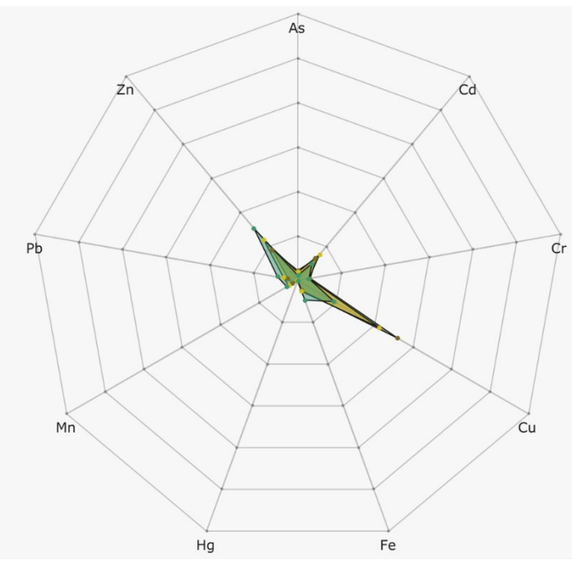

Campanha 10 - jun/jul 2023

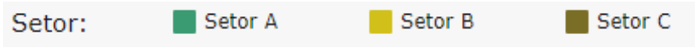



Campanha 11 - jan 2024

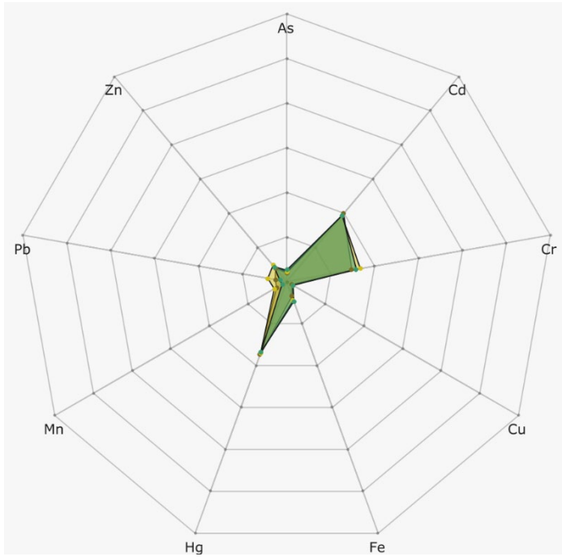



Campanha 12 – jul 2024

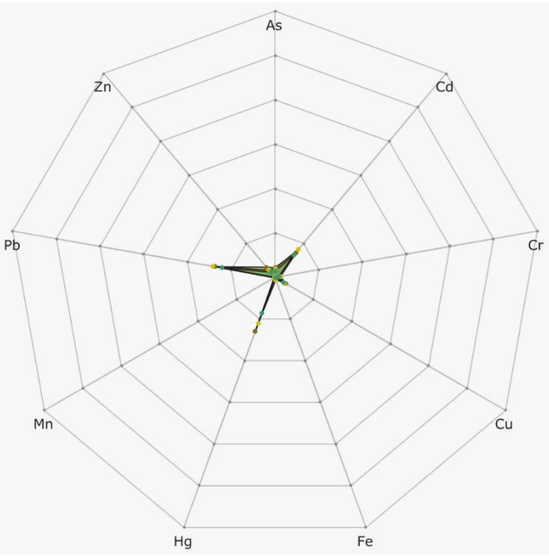


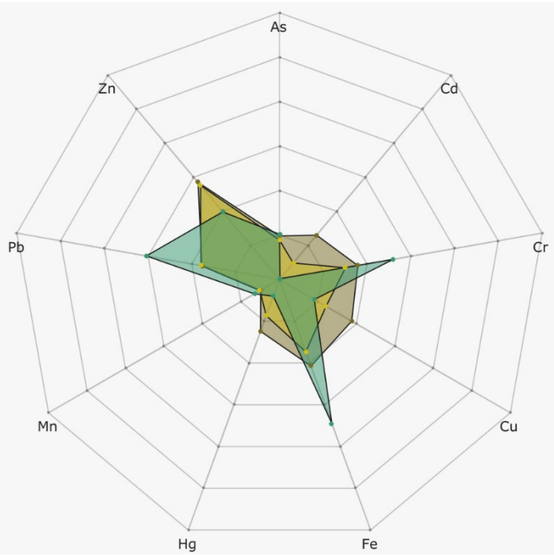
Campanha 13 - jan/fev 2025



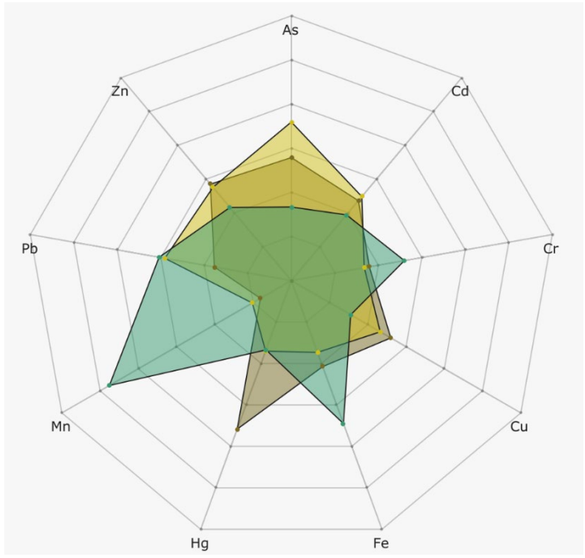

Campanha 14 - jul 2025

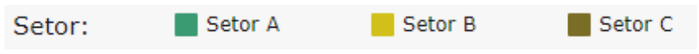



Campanha 15 – jan/fev 2026




Todas as Campanhas



Os gráficos de radar apresentados na Figura 6 revelaram um destaque para a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), já que esta apresentou valores elevados do IBR Bioacumulação, além de apresentar uma das maiores diversidades de contaminantes compondo o valor deste índice ao longo de todo o período amostral. Nesta Campanha, a contribuição de cada um dos elementos foi dependente do Setor avaliado. No Setor A, os elementos As, Cd, Cr, Cu, Fe e Zn contribuíram de forma mais importante para a composição do valor do IBR Bioacumulação, com um destaque para o Cr, Fe e Zn. No Setor B, os elementos As, Cd e Zn tiveram destaque. No Setor C, o valor do IBR Bioacumulação foi composto pelos elementos Hg, Zn, Fe, Cd, As, Cr e Cu, com maior participação do Hg na composição do valor do índice. Considerando-se, em conjunto, os três Setores avaliados, os elementos Fe, Zn, As e Cu foram os que contribuíram de forma importante para a composição do valor do IBR Bioacumulação dos caranguejos da praia. Neste contexto, vale destacar que o Hg aparece somente na composição do valor do índice dos caranguejos da praia coletados no Setor C, porém com uma expressiva contribuição na composição do valor do IBR Bioacumulação. Isso indica que, na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), os organismos do Setor C estiveram mais sujeitos aos efeitos da bioacumulação de Hg do que aqueles dos demais Setores avaliados. Por sua vez, os organismos do Setor A estiveram mais sujeitos à bioacumulação e aos efeitos de metais essenciais como Fe, Zn e Cr.

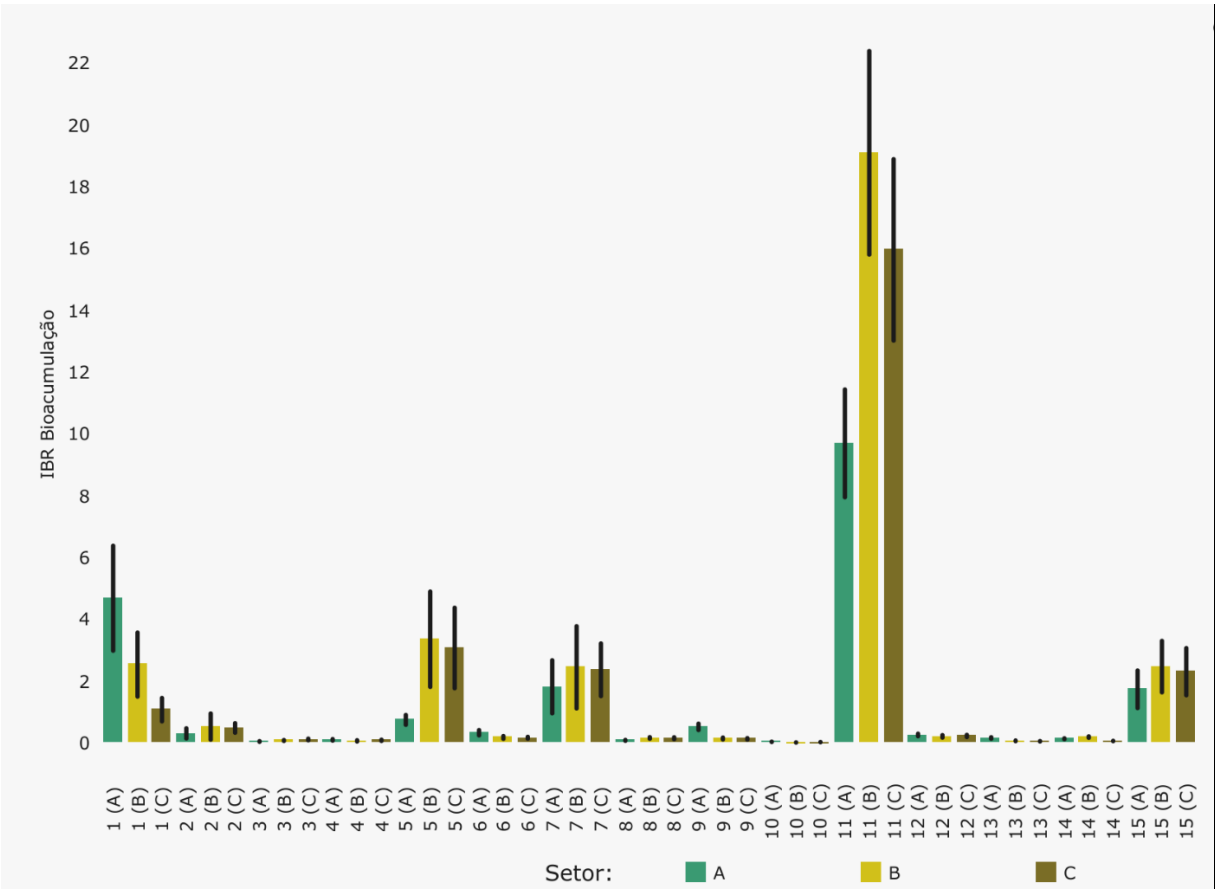
A Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) também apresentou elevados valores do IBR Bioacumulação, bem como diversidade de elementos compondo o valor do índice. No Setor A, os elementos Cr, Fe, Pb e Zn tiveram considerável contribuição, enquanto a composição do valor de índice no Setor B teve também influência destes elementos, bem como dos metais Cd, Hg e Cr. No Setor C, os metais essenciais Zn, Fe, Cu, e Cr foram os principais elementos que contribuíram para a composição do valor do índice.

Em uma análise geral, vale destacar que o Zn esteve presente na composição do IBR bioacumulação em todas as Campanhas do monitoramento, à exceção da Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco). Outros dois metais que merecem destaque são o Cd e o Hg, devido às suas frequências na composição do do valor do índice. O Cd esteve associado aos valores do IBR Bioacumulação para todos os Setores avaliados na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), bem como nas Campanhas 6 (jul/ago 2021 – período seco) a 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Por sua vez, o Hg esteve relacionado à composição do valor do IBR Bioacumulação em diversas Campanhas, exceto na Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), 10 (jun/jul 2023 – período seco) e Campanha12 (jul 2024 – período seco), sendo de grande contribuição para a composição do valor do IBR Bioacumulação nos Setores B e C na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), bem como para todos os Setores na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). Estes resultados indicam uma importante bioacumulação destes três metais não essenciais (Cd, Hg e Zn) nos organismos avaliados, a qual se mantem ao longo do período do monitoramento realizado e, consequentemente, um possível impacto crônico destes elementos na biota aquática em questão.

Considerando-se todos os Setores em conjunto, os contaminantes que apresentaram maior frequência na composição do valor do IBR Bioacumulação nos caranguejos da praia, ao longo de todo o

monitoramento, foram o As, Cu, Fe e Zn, seguidos do Cd e Cr. Quando se consideram os dados de todas as Campanhas realizadas, houve uma destacada contribuição do Pb para a composição do valor do IBR Bioacumulação dos caranguejos da praia coletados no Setor A e, em menor escala, nos demais Setores, sendo este um metal considerado altamente tóxico (Lokeshappa et al., 2012; Selvi et al., 2019). No Setor A, destaca-se também a importante e elevada contribuição do Mn, seguido por Fe, contaminantes presentes no MLD (material ligado ao desastre), na composição do valor do IBR Bioacumulação dos caranguejos da praia. Já no Setor B, houve contribuição mais homogênea dos elementos analisados para a composição do valor do índice, com menor destaque para o Mn e Fe. Por sua vez, no Setor C, o destaque na composição do valor do IBR Bioacumulação para todas as Campanhas realizadas é atribuído ao Cu, Hg e Zn. Dentre os contaminantes mencionados acima, ressalta-se que Cu, Fe, Mn e Zn são considerados micronutrientes, ou seja, são importantes para a saúde dos organismos vivos em concentrações traços, porém são tóxicos em concentrações elevadas. Já o metaloide As e os metais Cd, Hg e Pb são considerados como sendo altamente tóxicos, mesmo em pequenas concentrações (Lokeshappa et al., 2012; Selvi et al., 2019).

Figura 7: Valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de penas e sangue de aves coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A (Mangue); Setor B (Estuário); e Setor C (Costeiro). As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.

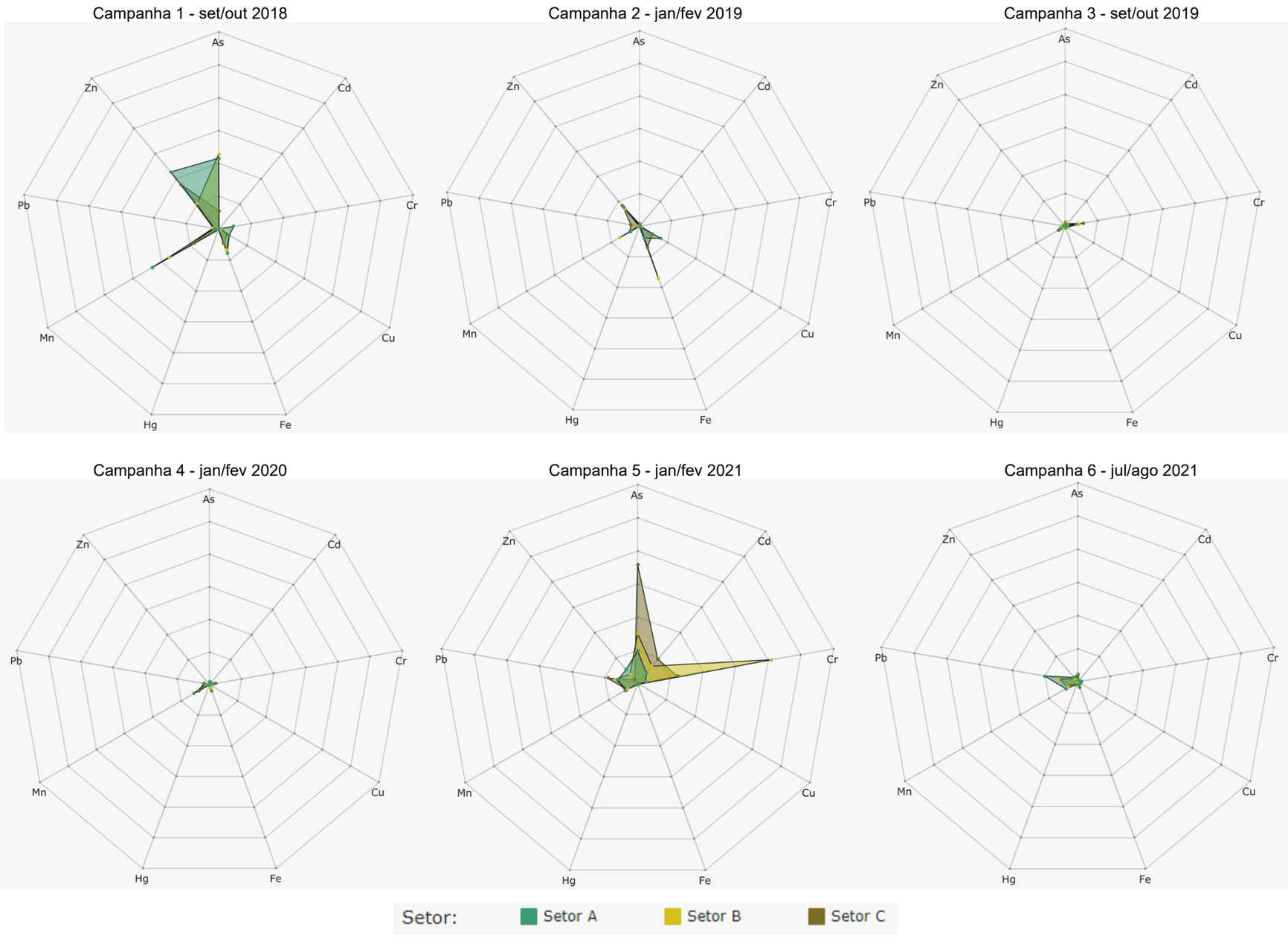



De maneira geral, observa-se no gráfico de barras apresentado na Figura 7 que há alternâncias nos valores do IBR Bioacumulação para as aves costeiras entre Campanhas. Apesar disso, foi observado um padrão sazonal de contaminação das aves costeiras, já que aumentos expressivos no valor do IBR Bioacumulação foram observados nos períodos chuvosos, especialmente na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Neste contexto, cabe destacar que na Campanha 11 (jan 2024 - período chuvoso) foram observados os maiores valores do IBR Bioacumulação para todos os Setores avaliados, em relação à todas as Campanhas realizadas ao longo do monitoramento. Este marcado aumento no nível de contaminação das penas e sangue das aves costeiras foi seguido de uma nova e significativa redução nos valores do IBR Bioacumulação entre as Campanhas 12 (jul 2024 – período seco) e 14 (jul 2025 – período seco). Os maiores valores do

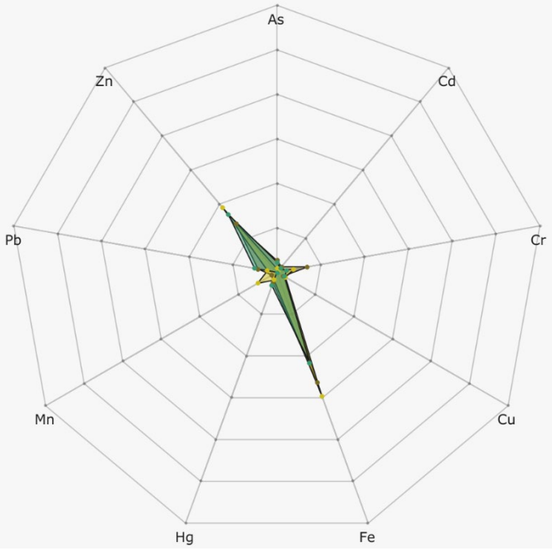
índice de bioacumulação de metais e As nos tecidos (sangue e penas) das aves costeiras no período chuvoso podem estar associadas a maiores níveis destes contaminantes nos itens alimentares destes animais devido à maior biodisponibilidade destes elementos durante este período, conforme detalhado abaixo.

Quando os dados de bioacumulação nos tecidos das aves costeiras (Figura 7) são comparados com aqueles dos caranguejos de manguezais (Figura 1), bem como dos caranguejos da praia (Figura 5), observa-se que há uma tendência de picos no valor do índice, sobretudo na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Esta relação pode estar associada ao fato de que as aves costeiras tem um comportamento de forrageamento e são predadores de topo de cadeia trófica, podendo se alimentar de vários organismos, incluindo caranguejos e pequenos invertebrados – apesar da menor semelhança entre o padrão temporal de contaminação entre aves e pequenos invertebrados (Beauchamp, 2009; Li et al., 2023; Steinmetz et al., 2003). Portanto, estas evidências apontam para uma contaminação do Ambiente Costeiro com metais e As, bem como a bioacumulação e biomagnificação destes contaminantes nos organismos que habitam ou utilizam este ambiente para forrageamento.

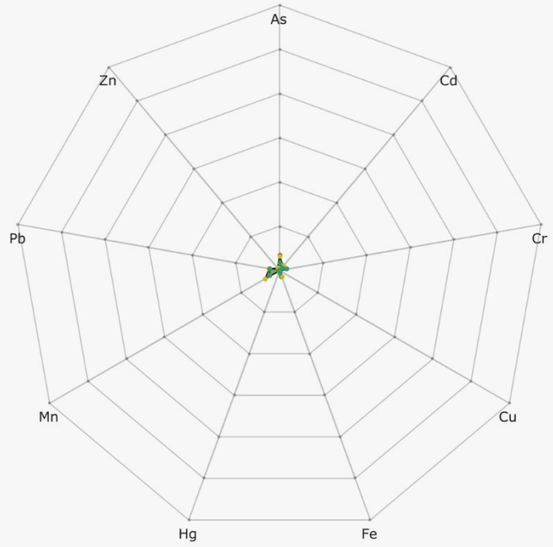
Figura 8: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Bioacumulação de metais e As (IBR Bioacumulação) determinados para amostras de penas e sangue de aves coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco ), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 – período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Metais analisados: Arsênio (As); Cádmio (Cd); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Manganês (Mn); Mercúrio (Hg); e Zinco (Zn) . Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A (Mangue); Setor B (Estuário) e Setor C (Costeiro).



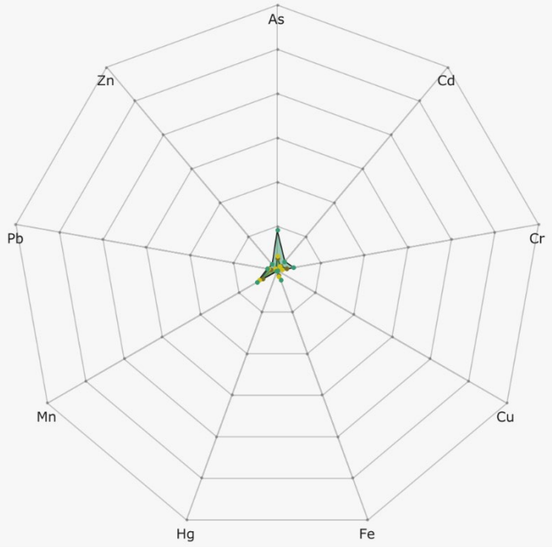
Campanha 7 - mar 2022



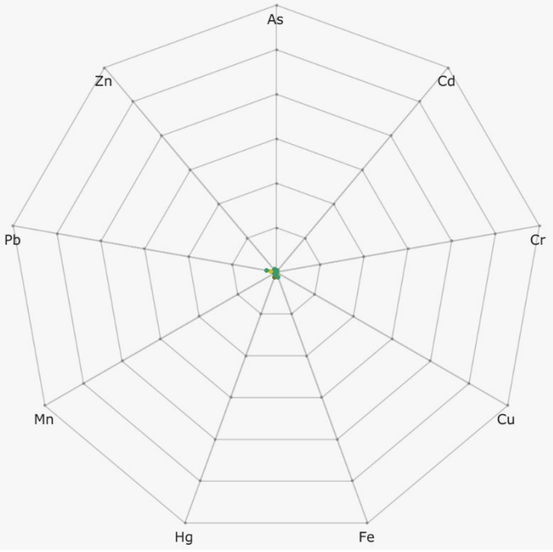

Campanha 8 - set/out 2022



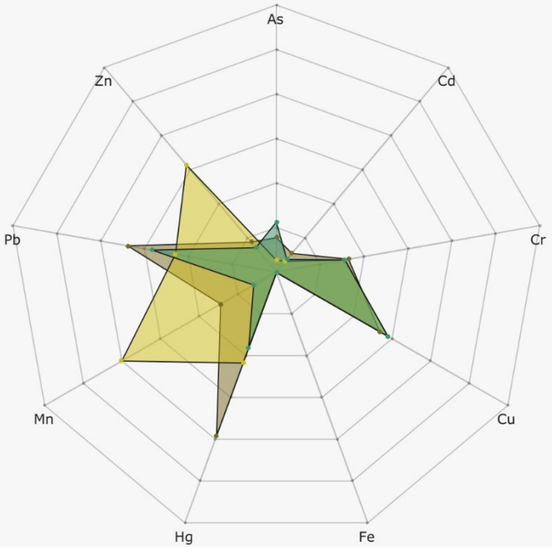

Campanha 9 – jan/fev 2023



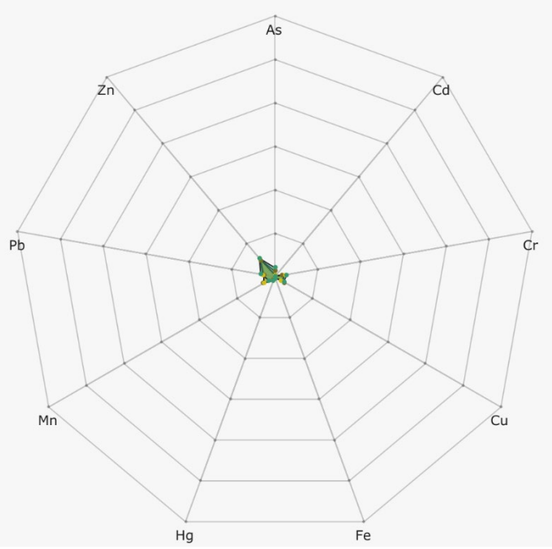

Campanha 10 - jun/jul 2023




Campanha 11 - jan 2024

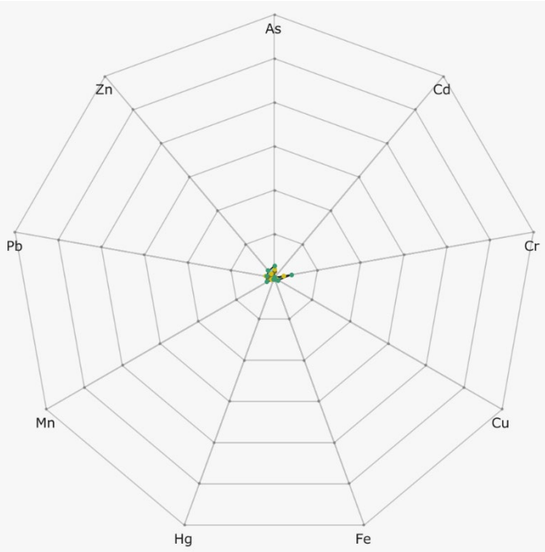



Campanha 12 – jul 2024

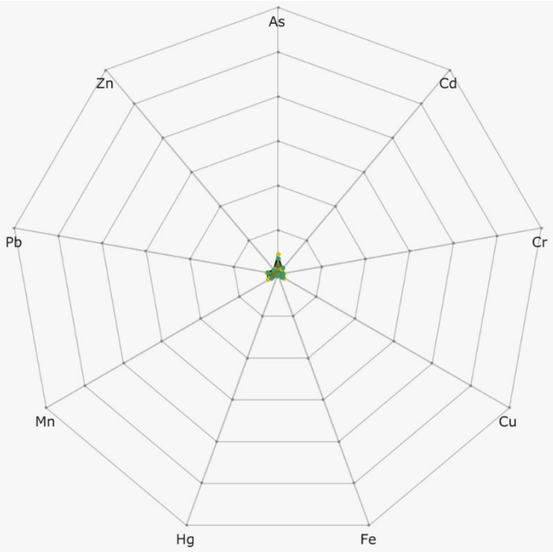



Setor: Setor A Setor B Setor C

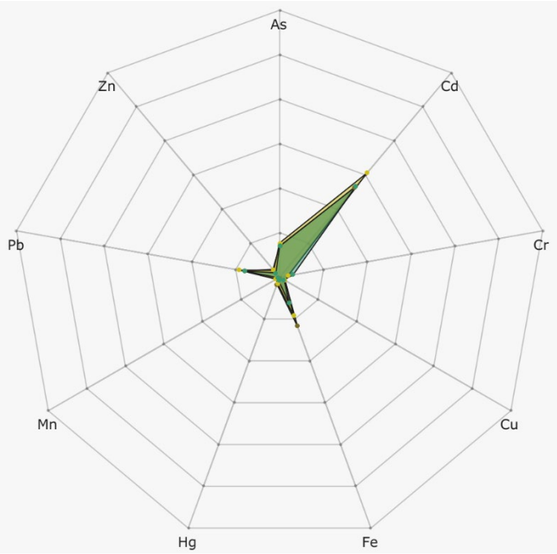
Campanha 13 - jan/fev 2025



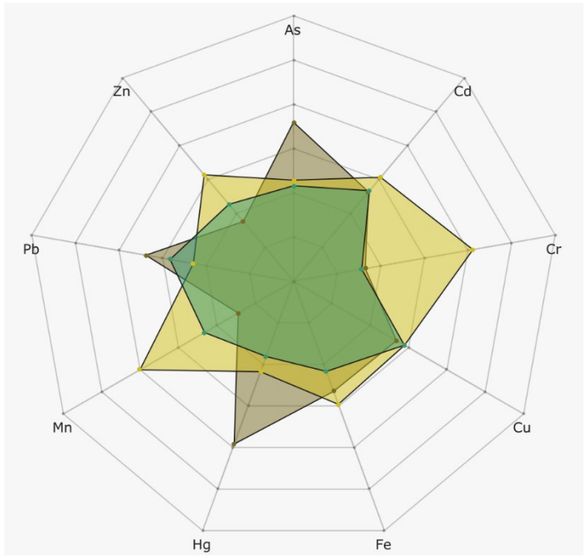

Campanha 14 - jul 2025

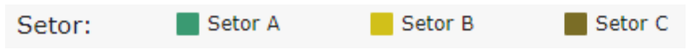



Campanha 15 – jan/fev 2026




Todas as Campanhas



Através dos gráficos de radar apresentados na Figura 8, é possível observar que a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) foram as que apresentaram a maior diversidade e os maiores valores de contaminantes compondo o valor do IBR Bioacumulação, com destaque para a Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). Vale ressaltar que, nos três Setores avaliados, todos os elementos contribuíram significativamente para a composição do valor do IBR Bioacumulação

Ao longo de todo o monitoramento, os elementos As, Mn, Pb e Zn foram os que estiveram mais presentes na composição do valor do IBR Bioacumulação nas aves costeiras. Apesar de não estarem presentes na composição do índice em muitas Campanhas, cabe enfatizar que o Hg, Fe, Cu e Cr foram geralmente bastante importantes na composição do valor IBR Bioacumulação. Neste contexto, cabe destacar que o As teve destaque na composição do IBR Bioacumulação na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período chuvoso) – apesar do reduzido valor do índice - e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Já o Mn teve contribuição significativa para o índice principalmente na Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso). O Pb apresentou contribuição expressiva para o IBR Bioacumulação na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e, em menor escala, na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Por sua vez, o Zn esteve presente na composição do valor do IBR Bioacumulação nos tecidos das aves costeiras no período chuvoso de 2018 (Campanha 1: set/out 2018), 2019 (Campanha 2: jan/fev 2019), 2022 (Campanha7: mar 2022 – período chuvoso), 2024 (Campanha 11 jan 2024) e 2025 (Campanha 13: jan/fev 2025), bem como no período seco de 2024 (Campanha 12: jul 2024).

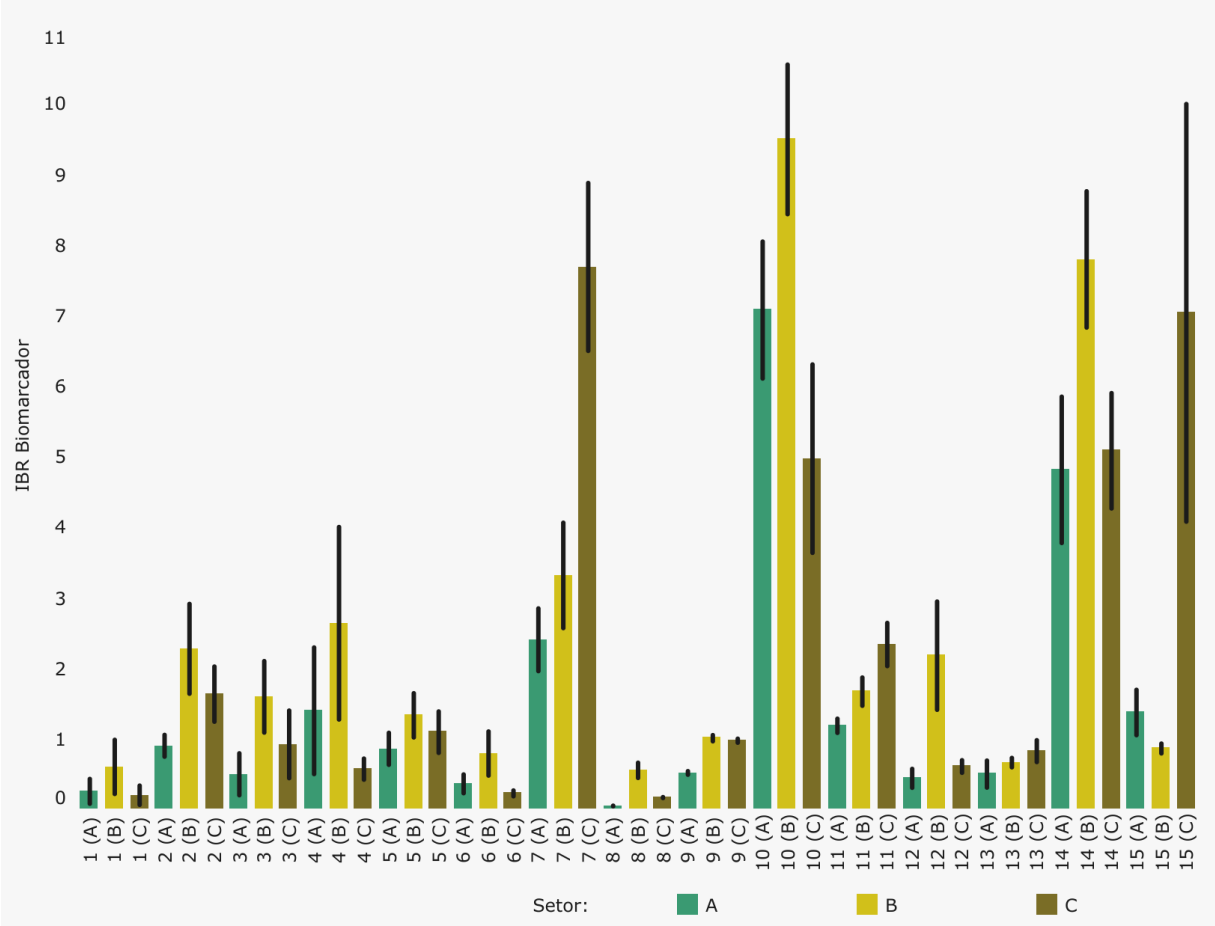
Cabe ressaltar que Mn e Pb estiveram dentre os elementos mais frequentes também na composição do IBR Bioacumulação para os caranguejos do manguezal (Figura 1). Vale lembrar que, o Pb é um metal traço não essencial à vida e, consequentemente, altamente tóxico, mesmo em baixas concentrações, sendo reconhecidamente presente no Material Ligado ao Desastre (MLD) (de Oliveira Gomes et al., 2017), e que o Mn é um metal com alto potencial de mobilização a partir da lixiviação do MLD (Segura et al., 2016). Além disso, vale lembrar que o Mn é um micronutriente essencial, mas que pode ser tóxico para os organismos quando presente em altas concentrações, como observado no monitoramento realizado. Juntamente com o Pb, o Cd, outro elemento não essencial e potencialmente tóxico em baixas concentrações, esteve presente e com destaque na composição do valor do IBR Bioacumulação na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso).

Considerando-se todos os Setores em conjunto, os contaminantes que apresentaram maior relevância na composição do IBR Bioacumulação nos tecidos (penas e sangue) das aves costeiras, ao longo de todo o monitoramento, foram o As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn e Pb. Houve uma destacada contribuição do Cd, Cu e Pb para a composição do valor do IBR Bioacumulação das aves costeiras coletadas no Setor A, sendo o Pb um metal considerado altamente tóxico (Lokeshappa et al., 2012; Selvi et al., 2019). No

Setor B, destaca-se a importante contribuição do Cr, Fe, Mn e Zn, nutrientes essenciais à vida, na composição do IBR Bioacumulação dos tecidos das aves costeiras. Por sua vez, no Setor C, o destaque na composição do valor deste índice para todas as Campanhas realizadas é atribuído ao As, Hg, e Pb, todos estes sendo elementos considerados não essenciais à vida e, portanto, altamente tóxicos à biota aquática.

## 3.2 ÍNDICE DE RESPOSTA BIOLÓGICA *(IBR BIOMARCADOR)*

Figura 9: Valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa) de caranguejo do manguezal coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco ), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 - período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1 – até a Campanha 12), Revis Santa Cruz 2 (RSC2 – até a Campanha 12) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR – até a Campanha 12), Rio Mariricu (RMA – até a Campanha 12), Rio São Mateus (RSM – até a Campanha 12), Rio Caravelas (RCA – até a Campanha 12), Barra Nova (BN2D – a partir da Campanha 13) e São Mateus (SM2FE – a partir da Campanha 13)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão. Cabe destacar que a partir da campanha 9, a hemolinfa de caranguejos de praia e mangue deixou de ser coletada e a determinação de Sitio AP passou a ser realizada no músculo destes animais.

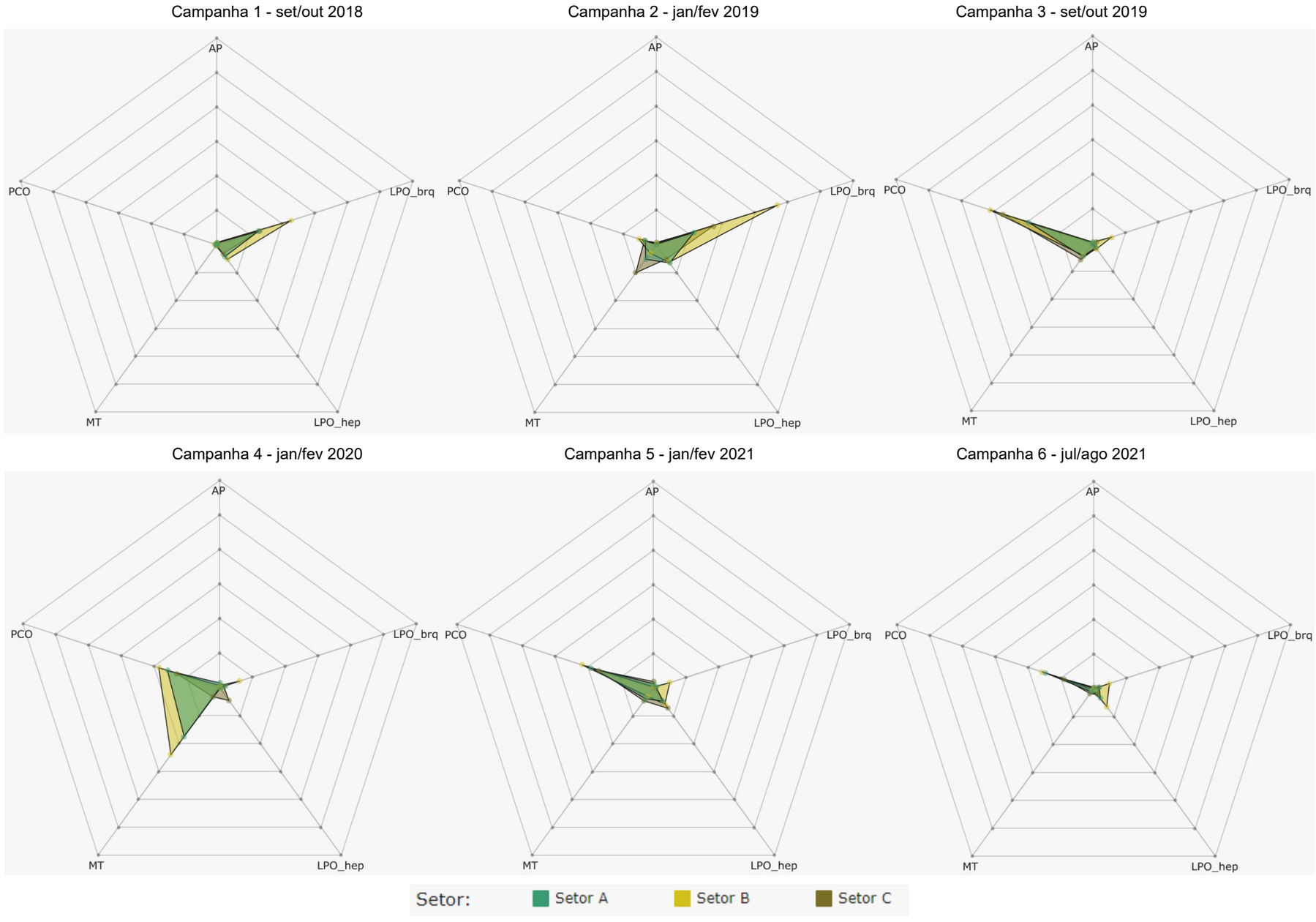



Na comparação temporal global feita a partir da avaliação do IBR Biomarcador para o caranguejo do manguezal, apresentada na Figura 9, é possível observar valores mais proeminentes deste índice no Setor B (FRG), com exceção da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 11 (jan/ 2024

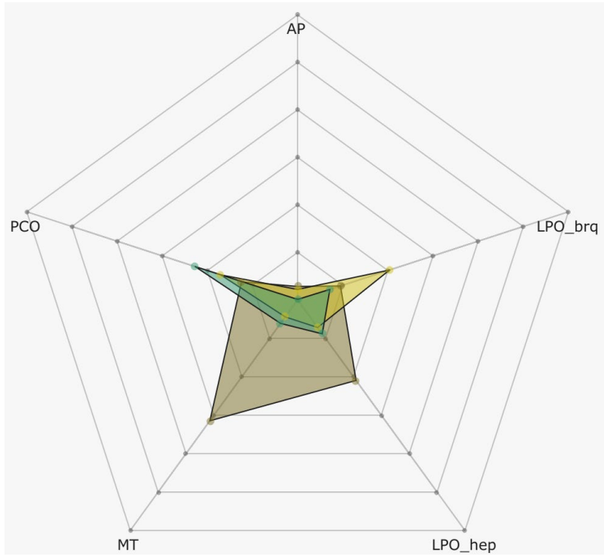
– período chuvoso), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), as quais os maiores valores do IBR Biomarcador foram observados no Setor C.

A Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) se destacaram por apresentarem os maiores valores do IBR Biomarcador, indicando a presença de um significativo impacto fisiológico, já que os biomarcadores responsáveis pela geração deste índice refletem estresse oxidativo (lipoperoxidação e proteínas carboniladas), ativação de mecanismos celulares de proteção contra metais e metaloides (metalotioneínas) e danos ao DNA (sítios AP). Além disso, quando os dados do IBR Biomarcador são comparados com aqueles apresentados na Figura 1 (IBR Bioacumulação em caranguejos do manguezal), é possível notar que o comportamento dos dois índices é semelhante durante a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), sugerindo uma forte correlação entre os impactos observados em termos das respostas dos biomarcadores com a acumulação dos metais e metaloides analisados, sugerindo uma possível relação de causa/efeito. Neste contexto, vale ressaltar que os valores do IBR Biomarcador reduziram a partir da Campanha 11 (jan/ 2024 – período chuvoso), chegando a níveis mais baixos na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso). Por outro lado, na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) houve um aumento expressivo do índice em todos os Setores, o qual se manteve elevado ainda na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) para o Setor C. Os picos recorrentes no IBR Biomarcador reforçam a persistência dos impactos observados ao longo do monitoramento, mesmo que em eventos esporádicos.

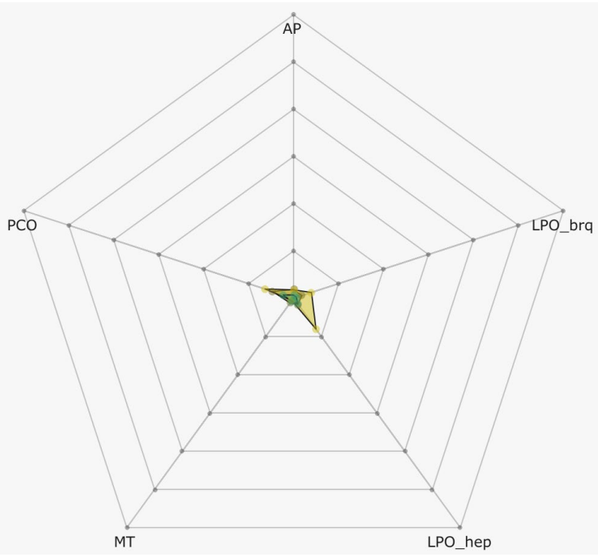
Figura 10: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos de caranguejo do manguezal coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco ), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 - período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MT); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) da Campanha 1 à 8 na hemolinfa e a partir da Campanha 9 no músculo (AP). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Revis Santa Cruz 1 (RSC1 – até a Campanha 12), Revis Santa Cruz 2 (RSC2 – até a Campanha 12) e Confluência do Piraquê-Açu e Mirim (PAM)]; Setor B [foz do Rio Doce em Regência (FRG)] e Setor C [Rio Urussuquara (RUR – até a Campanha 12), Rio Mariricu (RMA – até a Campanha 12), Rio São Mateus (RSM – até a Campanha 12), Rio Caravelas (RCA – até a Campanha 12), Barra Nova (BN2D – a partir da Campanha 13) e São Mateus (SM2FE – a partir da Campanha 13)].



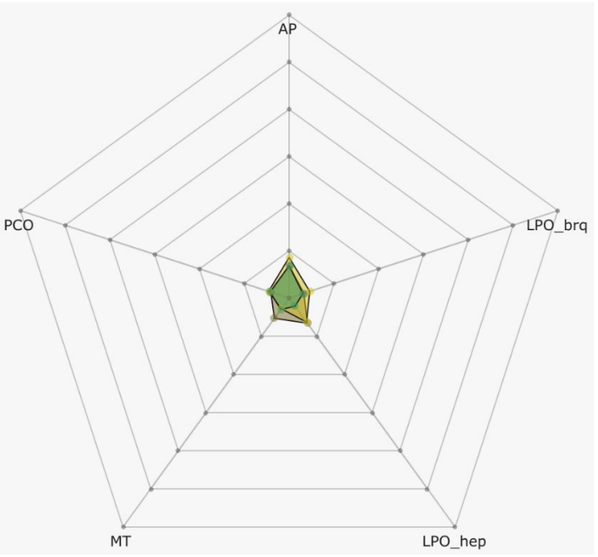
Campanha 7 - mar 2022



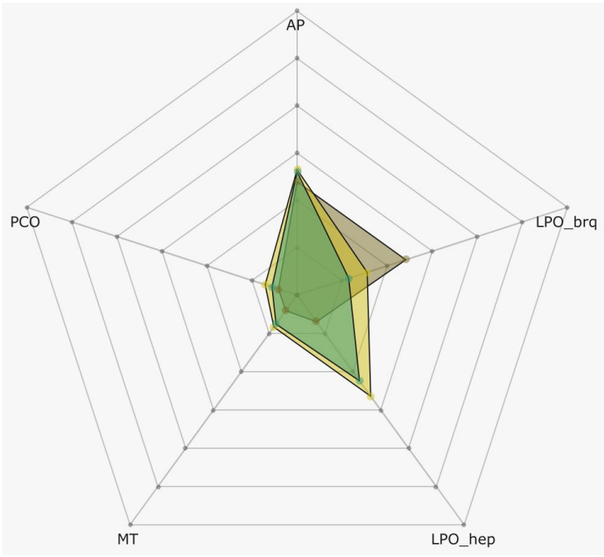

Campanha 8 - set/out 2022



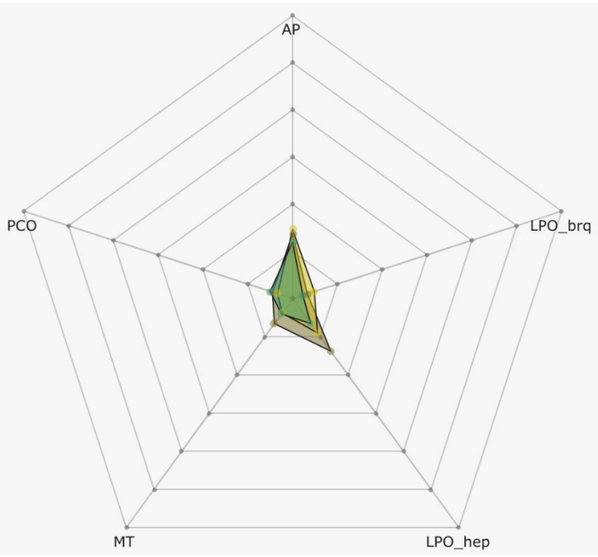

Campanha 9 – jan/fev 2023



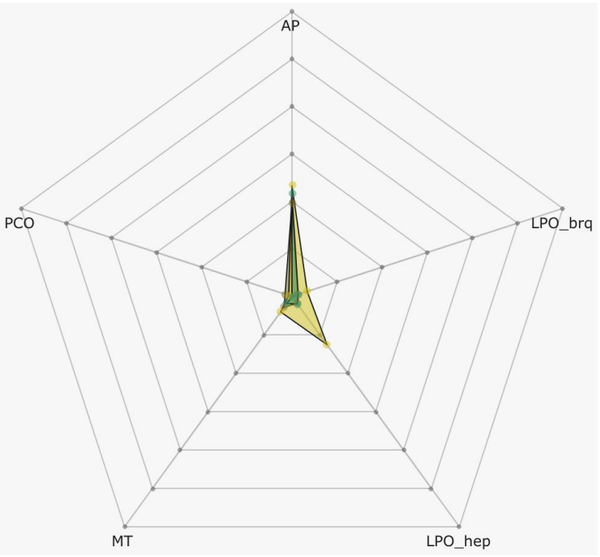

Campanha 10 - jun/jul 2023




Campanha 11 - jan 2024

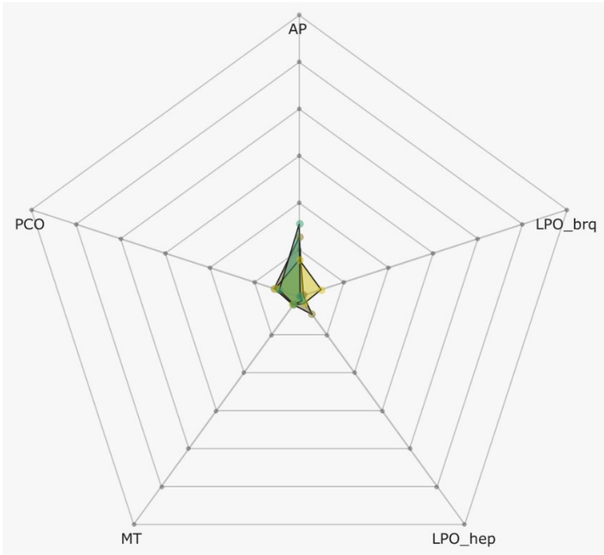



Campanha 12 – Jul 2024

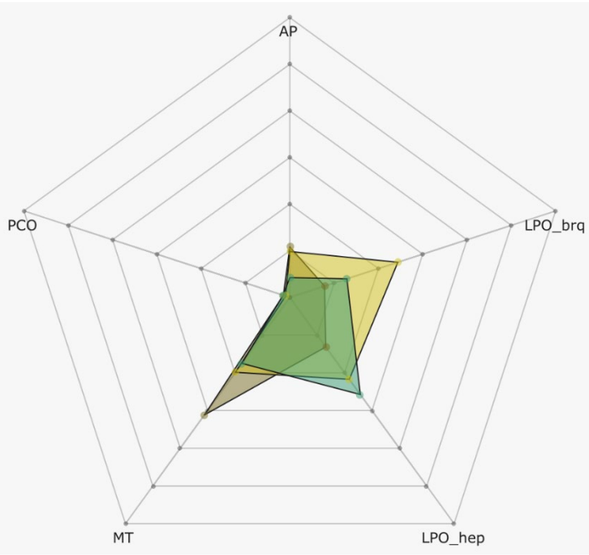




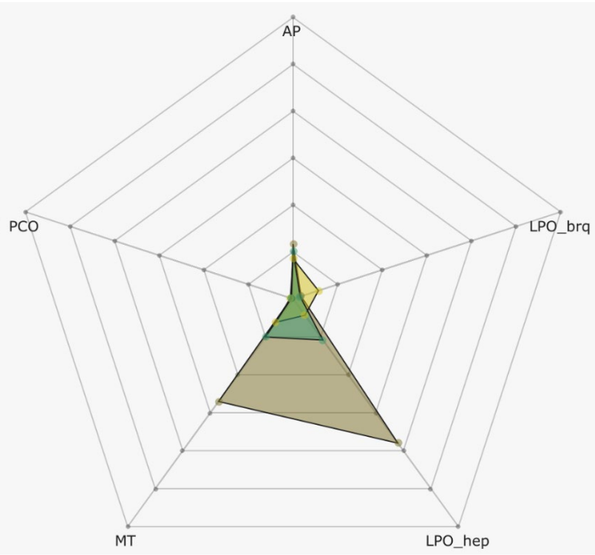

Campanha 13 – jan/fev 2025



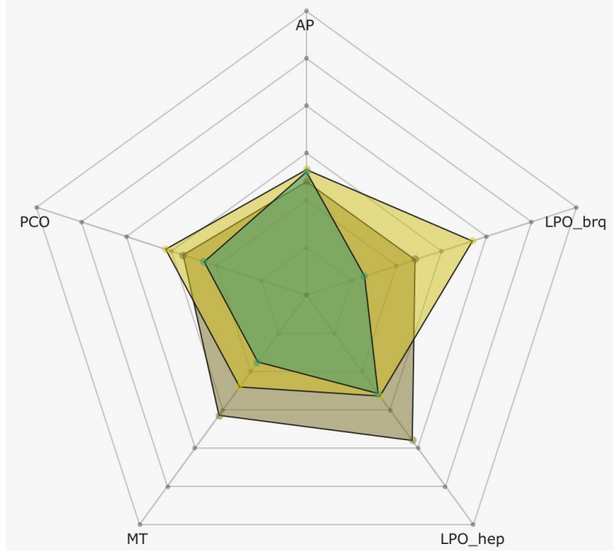

Campanha 14 - jul 2025




Campanha 15 – jan/fev 2026




Todas Campanhas

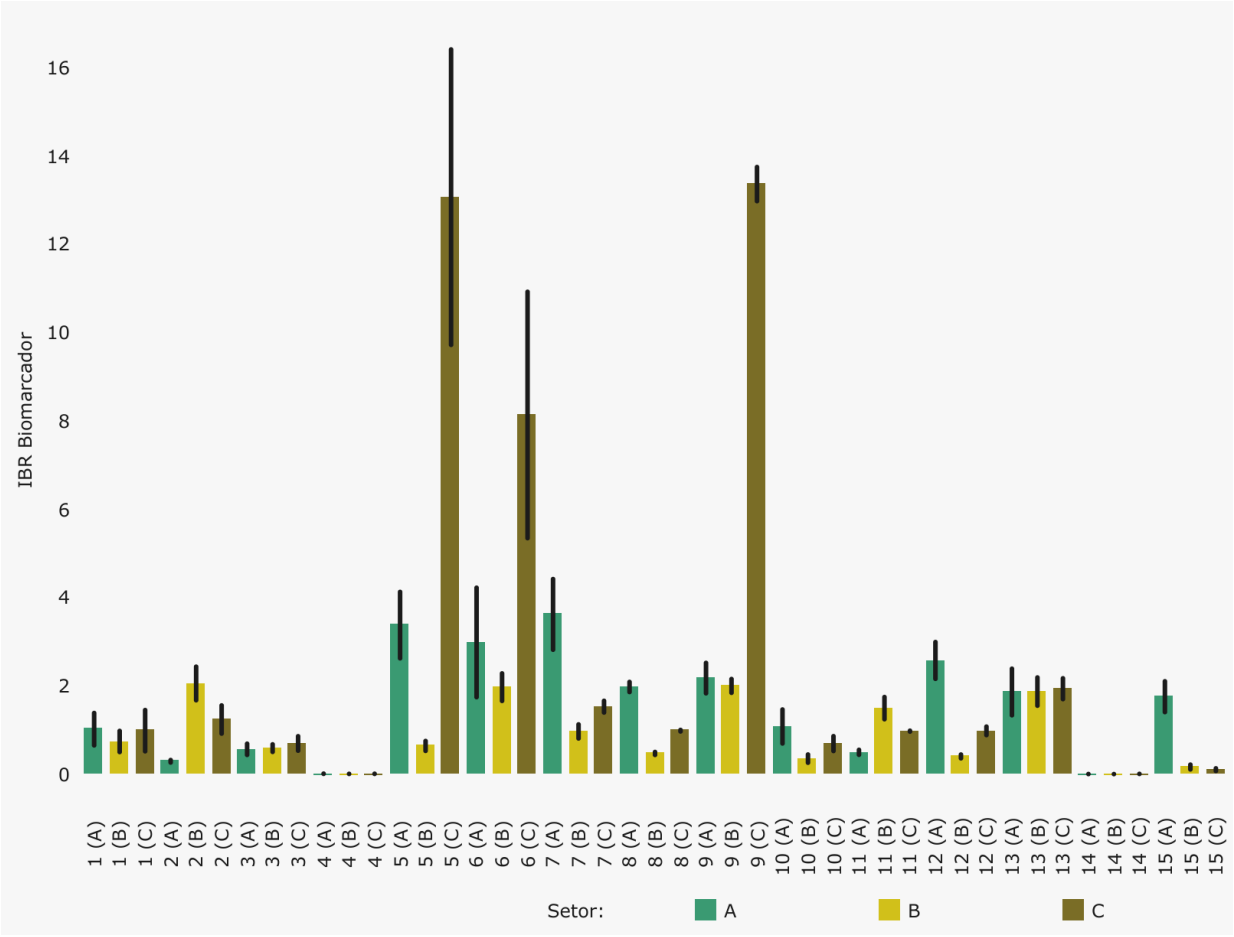


Os gráficos de radar apresentados na Figura 10 mostram que a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) foi uma das Campanhas que apresentaram os maiores valores de IBR Biomarcador, bem como uma das maiores diversidades de biomarcadores compondo este índice. No Setor A e B, os biomarcadores que compuseram o índice foram o PCO, LPO_hep, MT e LPO_brq. Já no Setor C, o IBR Biomarcador foi principalmente composto por MT e LPO_hep e, em menor escala, PCO e LPO_brq.

Por sua vez, a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) foi a que apresentou os maiores valores do IBR Biomarcador e uma das Campanhas que contou com uma das maiores diversidades de biomarcadores na composição deste índice, incluindo o biomarcador AP. Assim como na Campanha 7, os Setores A e B apresentaram padrões semelhantes com os biomarcadores LPO_hep, AP, LPO_brq, MT e PCO compondo principalmente o índice, em ordem decrescente. Já o IBR Biomarcador do Setor C apresentou relação principalmente com os biomarcadores sítios AP, LPO_brq e LPO_hep, com picos de valores nos biomarcadores sítios AP e LPO_hep. A composição dos IBR Biomarcador na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) foi semelhante entre os Setores, com destaque para a contribuição de LPO_brq, LPO_hep e MT. Já na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), o setor C se sobressaiu com o maior valor do índice e contribuição principalmente de LPO_hep e MT para a composição do IBR Biomarcador.

De maneira geral, o IBR Biomarcador das primeiras Campanhas, até a Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso) tiveram importante influência dos biomarcadores LPO_brq e PCO. A partir da Campanha 8 (set/out 2022 – período seco) observou-se uma maior contribuição do biomarcador LPO_hep, sobretudo nas Campanhas 10 (jun/jul 2023 – período seco), 11 (jan 2024 – período chuvoso) e 12 (jul 2024 – período seco). Pôde-se observar que nas duas primeiras Campanhas, em todos os Setores avaliados, os valores do IBR Biomarcador se concentraram nos biomarcadores LPO_hep e LPO_brq, indicando a presença de estresse oxidativo nos indivíduos analisados. A contribuição pronunciada do biomarcador MT aparece ao longo do monitoramento (Campanhas 2: jan/fev 2019 – período chuvoso, 4: jan/fev 2020 – período chuvoso, 7: mar 2022 – período chuvoso e 10: jun/jul 2023 – período seco), com destaque nas Campanhas 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso) e 7 (mar 2022 – período chuvoso), onde seus valores são altos. Logo, isto indica que há uma acumulação considerável de metais e As nos tecidos dos caranguejos, já que as MT estão relacionadas com a proteção contra os danos oxidativos resultantes da exposição excessiva a metais e As (Saux et al., 2020; Wang et al., 2014). Por fim, denota-se o surgimento de valores relevantes de sítios AP a partir da Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) até a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), demonstrando assim uma ocorrência importante de danos, especialmente oxidativos, no material genético dos organismos analisados. O fato de observarmos aumento na relevância relativa deste biomarcador nas últimas Campanhas realizadas pode refletir a característica acumulativa deste tipo de dano.

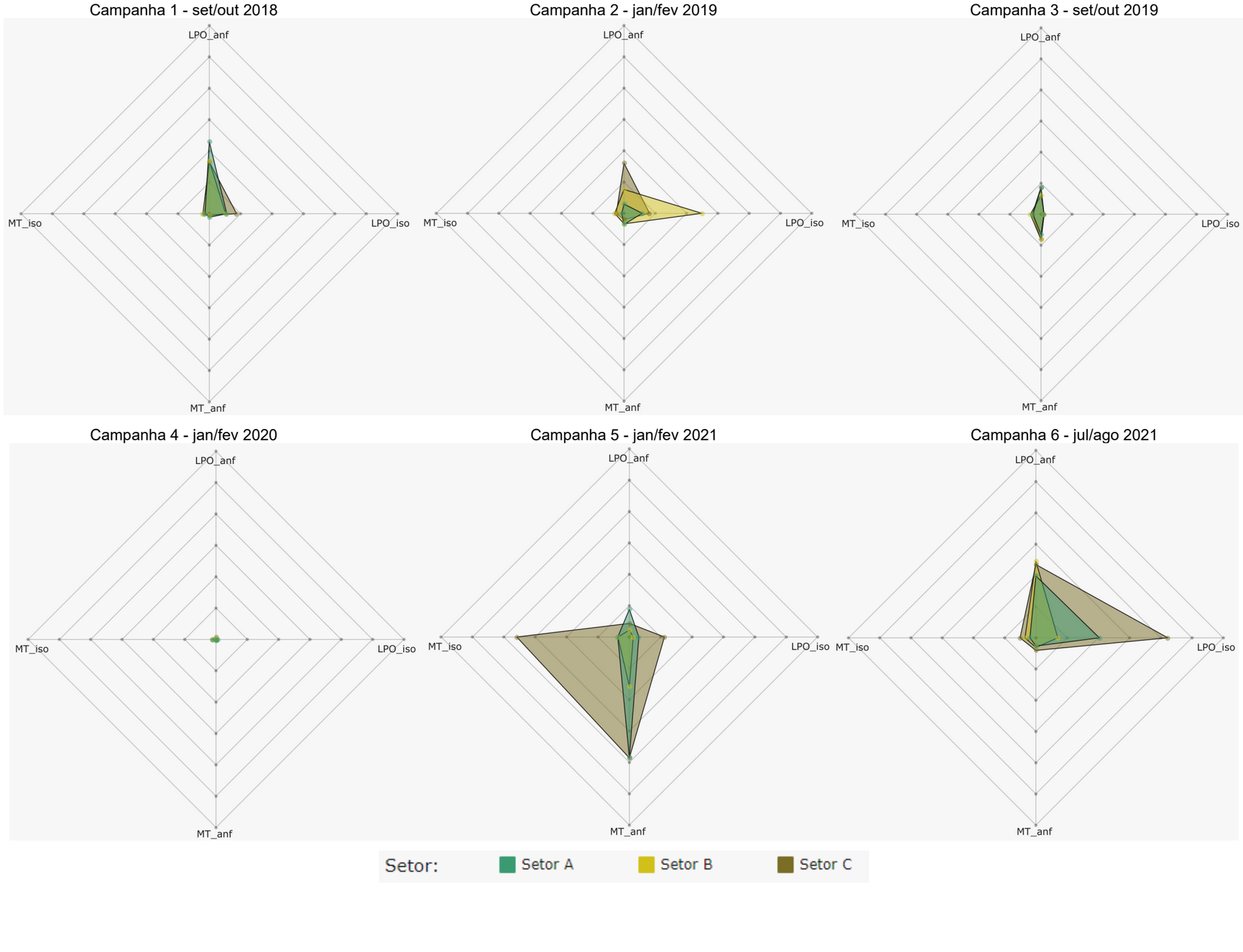
Figura 11: Valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas) coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 - período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR – até a Campanha 12), Aracruz – Putiri (ARP – até a Campanha 12 e S3 – a partir da Campanha 13) e Praia Formosa (S2 – a partir da Campanha 13)]; Setor B [Comboios (DSC – até a Campanha 12, S6 – a partir da Campanha 13), Regência (DSR – até a Campanha 12, S7 – a partir da Campanha 13), Povoação (DNP – até a Campanha 12, N1 – a partir da Campanha 13) e Terra Indígena (S5 – a partir da Campanha 13)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC – até a Campanha 12), Pontal do Ipiranga (DNPI – até a Campanha 12), Urussuquara (DNU – até a Campanha 12), Guriri (DNG – até a Campanha 12 e N5 – a partir da Campanha 13), Degredo (N2 – a partir da Campanha 13), Barra Nova (N4 – a partir da Campanha 13) e Itaúnas (N6 – a partir da Campanha 13)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



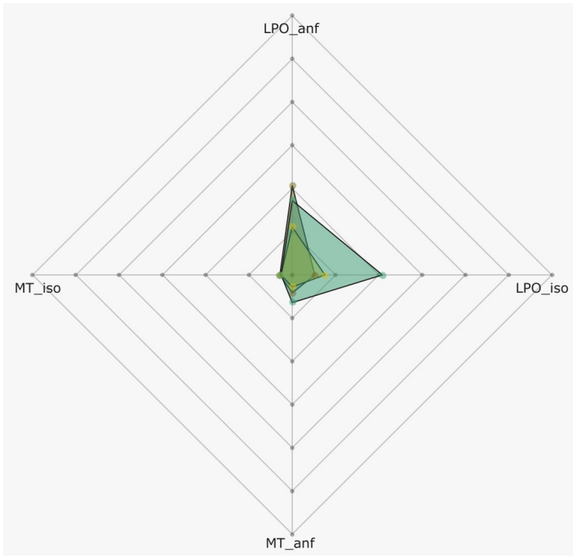

A partir do gráfico de valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) na Figura 11 observa-se que há uma tendência de estabilização nos valores de IBR Biomarcador nos pequenos invertebrados da praia ao longo do período de monitoramento, salvo para o Setor C, o qual demonstrou aumento relevante nos valores do índice nas Campanhas 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), 6 (jul/ago 2021 – período seco) e 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso). A partir da Campanha 10, observou-se uma redução expressiva nos valores médios do índice, chegando a valores basais, semelhantes ao terceiro

ano de monitoramento, na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Os valores de IBR Biomarcador no Setor C foram mais elevados em relação ao Setor A e, por fim B. No entanto, destaca-se o aumento do IBR Biomarcador do Setor A na Campanha 15, com valor médio semelhante ao do período chuvoso anterior (Campanha 13: jan/fev 2025 – período chuvoso). Com base nos resultados obtidos, sugere-se que o estresse fisiológico observado nos pequenos invertebrados da praia foi maior nos indivíduos coletados no Setor C, seguido pelo Setor A, com destaque principalmente para aqueles oriundos do Setor C nas Campanhas 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco) e Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso).

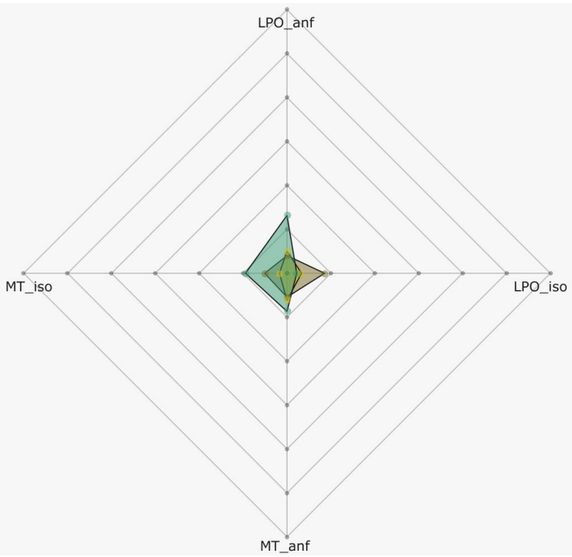
Figura 12: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de pequenos invertebrados da praia [anfípodas (_anf) e isópodas(_iso)] coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco ), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 - período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação (LPO); e concentração de metalotioneínas (MT). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR – até a Campanha 12), Aracruz – Putiri (ARP – até a Campanha 12 e S3 – a partir da Campanha 13) e Praia Formosa (S2 – a partir da Campanha 13)]; Setor B [Comboios (DSC – até a Campanha 12, S6 – a partir da Campanha 13), Regência (DSR – até a Campanha 12, S7 – a partir da Campanha 13), Povoação (DNP – até a Campanha 12, N1 – a partir da Campanha 13) e Terra Indígena (S5 – a partir da Campanha 13)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC – até a Campanha 12), Pontal do Ipiranga (DNPI – até a Campanha 12), Urussuquara (DNU – até a Campanha 12), Guriri (DNG – até a Campanha 12 e N5 – a partir da Campanha 13), Degredo (N2 – a partid da Campanha 13), Barra Nova (N4 – a partir da Campanha 13) e Itaúnas (N6 – a partir da Campanha 13)].



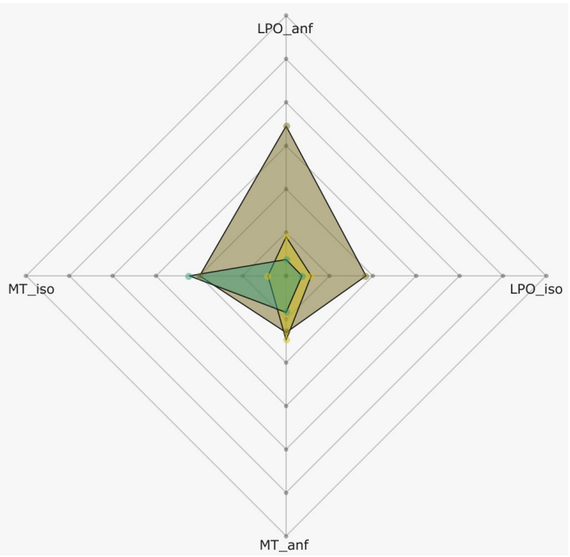
Campanha 7 - mar 2022



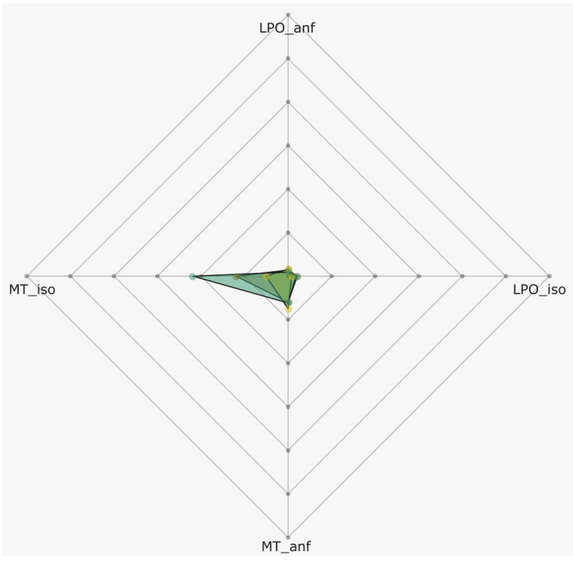

Campanha 8 - set/out 2022



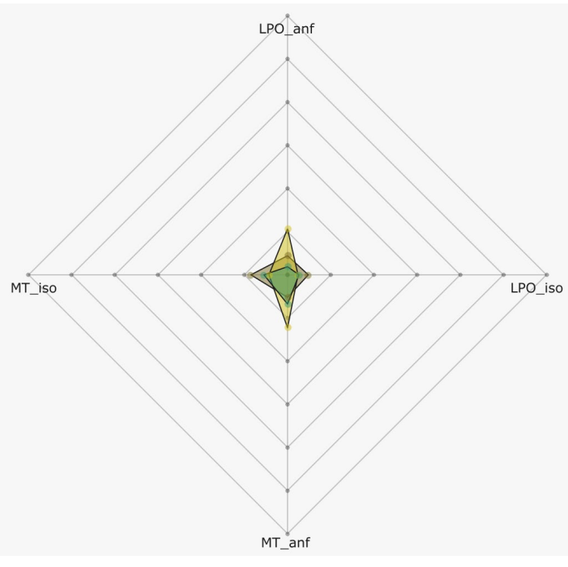

Campanha 9 – jan/fev 2023



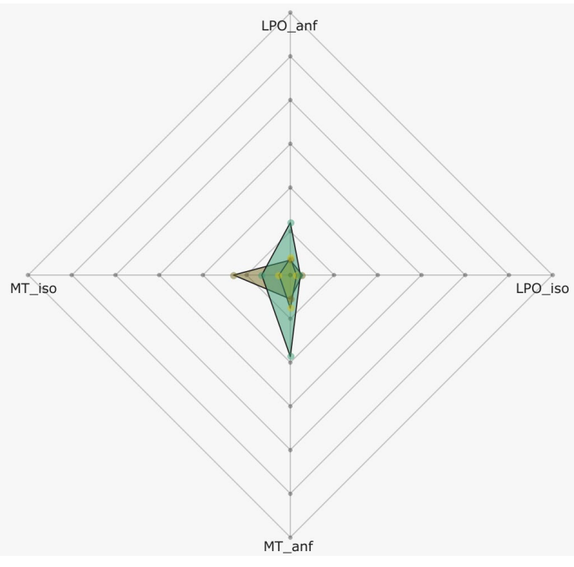

Campanha 10 - jun/jul 2023




Campanha 11 - jan 2024

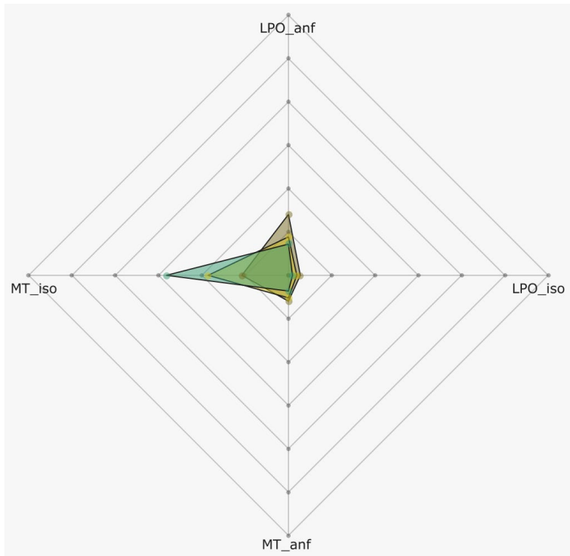



Campanha 12 – jul 2024

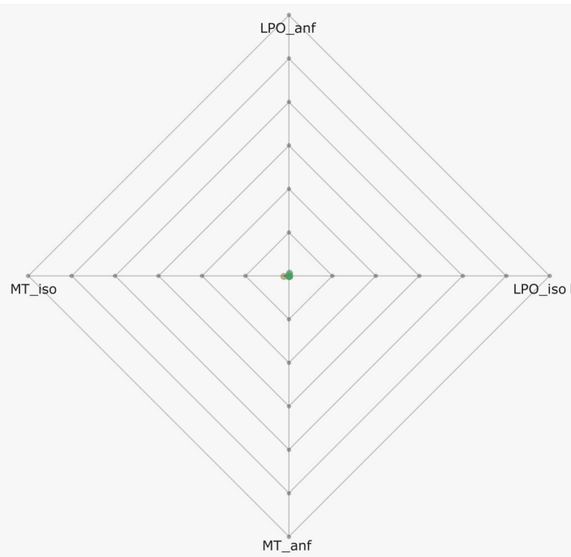




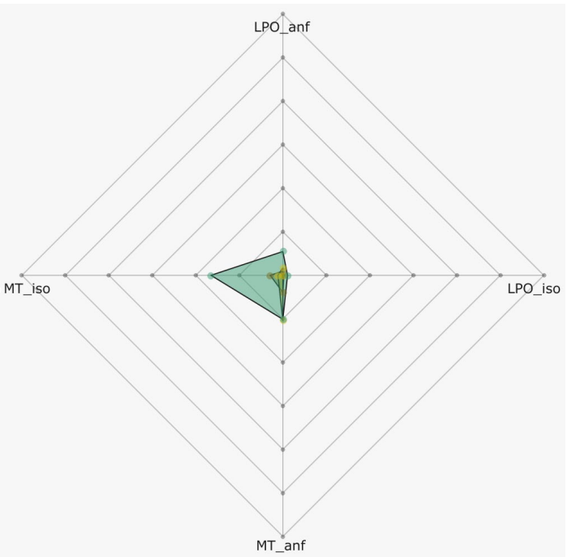

Campanha 13 - jan/fev 2025



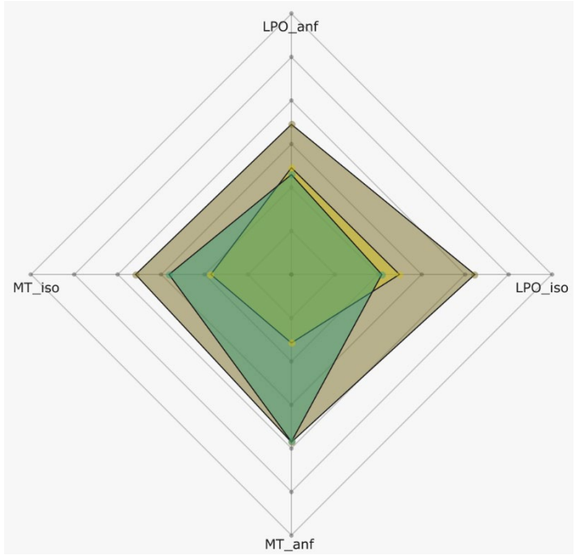

Campanha 14 - jul 2025




Campanha 15 – jan/fev 2026




Todas as Campanhas

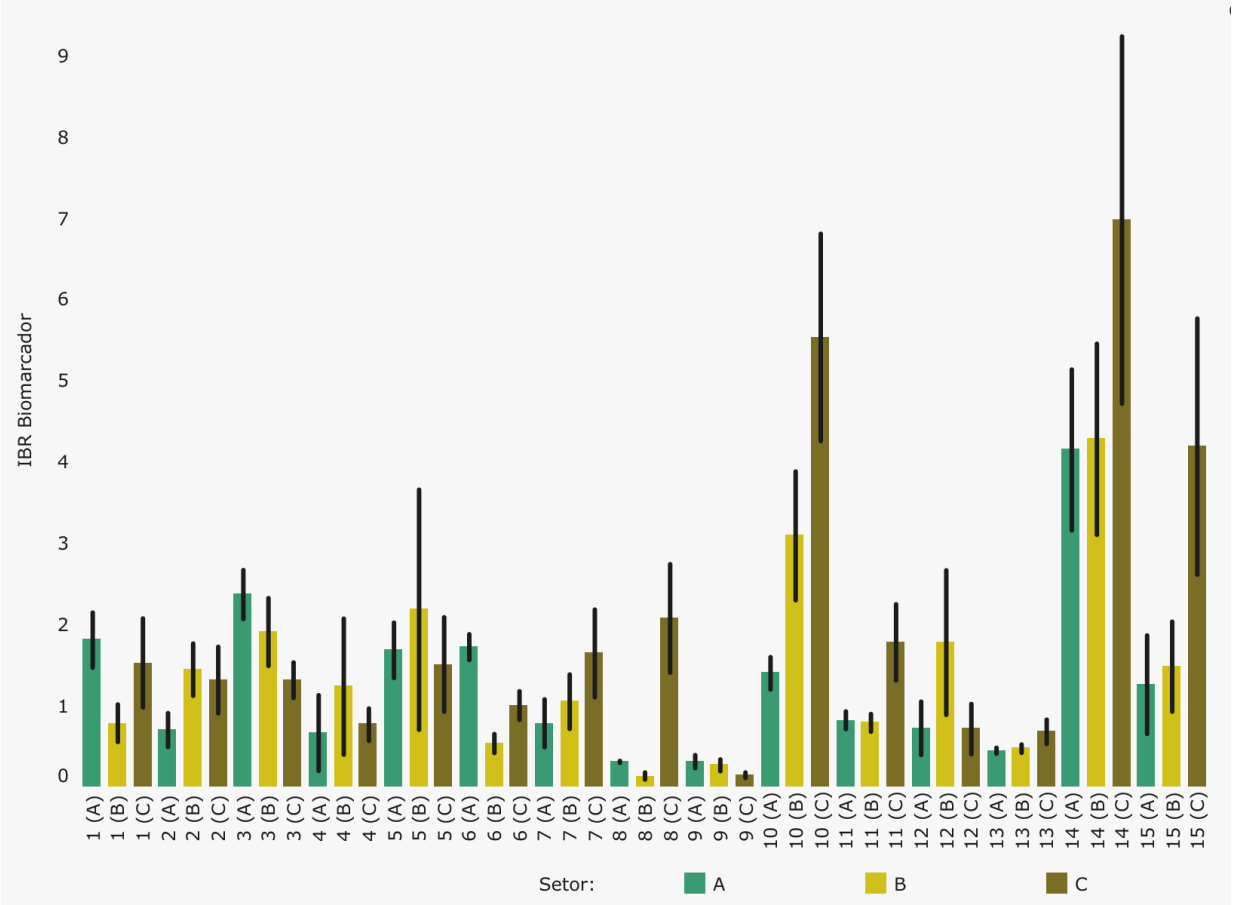





Os gráficos de radar apresentados na Figura 12 mostram que as Campanhas 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), 6 (jul/ago 2021 – período seco) e 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) foram aquelas que apresentaram os maiores valores do IBR Biomarcador. Com relação à Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), o valor do IBR Biomarcador no Setor A esteve associado com os biomarcadores LPO (LPO_anf) e MT em anfípodas (MT_anf), com destaque para os altos valores de contribuição do biomarcador MT. Por sua vez, o valor do índice no Setor B esteve relacionado principalmente com o biomarcador MT em anfípodas (MT_anf). Já os biomarcadores LPO em isópodas (LPO_iso) e MT em isópodas (MT_iso) e anfípodas (MT_anf) contribuíram para o valor do índice no Setor C, o qual apresentou os maiores valores do índice na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso). Neste caso, o biomarcador que se destacou, pelos seus altos picos de valores, foi o MT em ambos os grupos de organismos. Na Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), nos três Setores avaliados, a contribuição para o IBR Biomarcador esteve concentrada no biomarcador LPO em anfípodas (LPO_anf) e isópodas (LPO_iso), sendo que o maior valor do índice foi observado no Setor C. Por fim, a Campanha 9 teve seu maior valor de IBR Biomarcador concentrado no Setor C, o qual teve as principais contribuições dos biomarcadores MT em anfípodas (MT_anf) e isópodas (MT_iso), bem como LPO em anfípodas (LPO_anf) e isópodas LPO_iso), com destaque para o biomarcador LPO em anfípodas (LPO_anf). Por sua vez, o valor do IBR Biomarcador no Setor A apresentou contribuição da MT em anfípodas (MT_anf) e isópodas (MT_iso), com destaque para a MT em anfípodas, e também da LPO em anfípodas (LPO_anf). Os biomarcadores LPO (LPO_anf) e MT em anfípodas (MT_anf) contribuíram para o valor do índice no Setor B, porém a MT se destacou pelos seus maiores valores de contribuição para a composição do índice.

De maneira geral, o estresse oxidativo, representado pelo biomarcador LPO em anfípodas (LPO_anf) e em isópodas (LPO_iso) esteve presente na composição do IBR Biomarcador em todas as Campanhas realizadas, com exceção da Campanha 10, onde os valores do índice estiveram concentrados no biomarcador MT em isópodas (MT_iso), um parâmetro que indica a ativação de mecanismos celulares de proteção relacionados ao aumento de metais e metaloides. Além disso, é interessante notar que, a partir da Campanha 5, especialmente nos anos 2022 a 2026, os valores de contribuição da MT para a composição do IBR Biomarcador começaram a se mostrar mais relevantes em todos os setores, mas principalmente no Setor A. Na última Campanha (Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso), foi observado um incremento apenas no índice deste Setor, com destaque para a contribuição de MT.

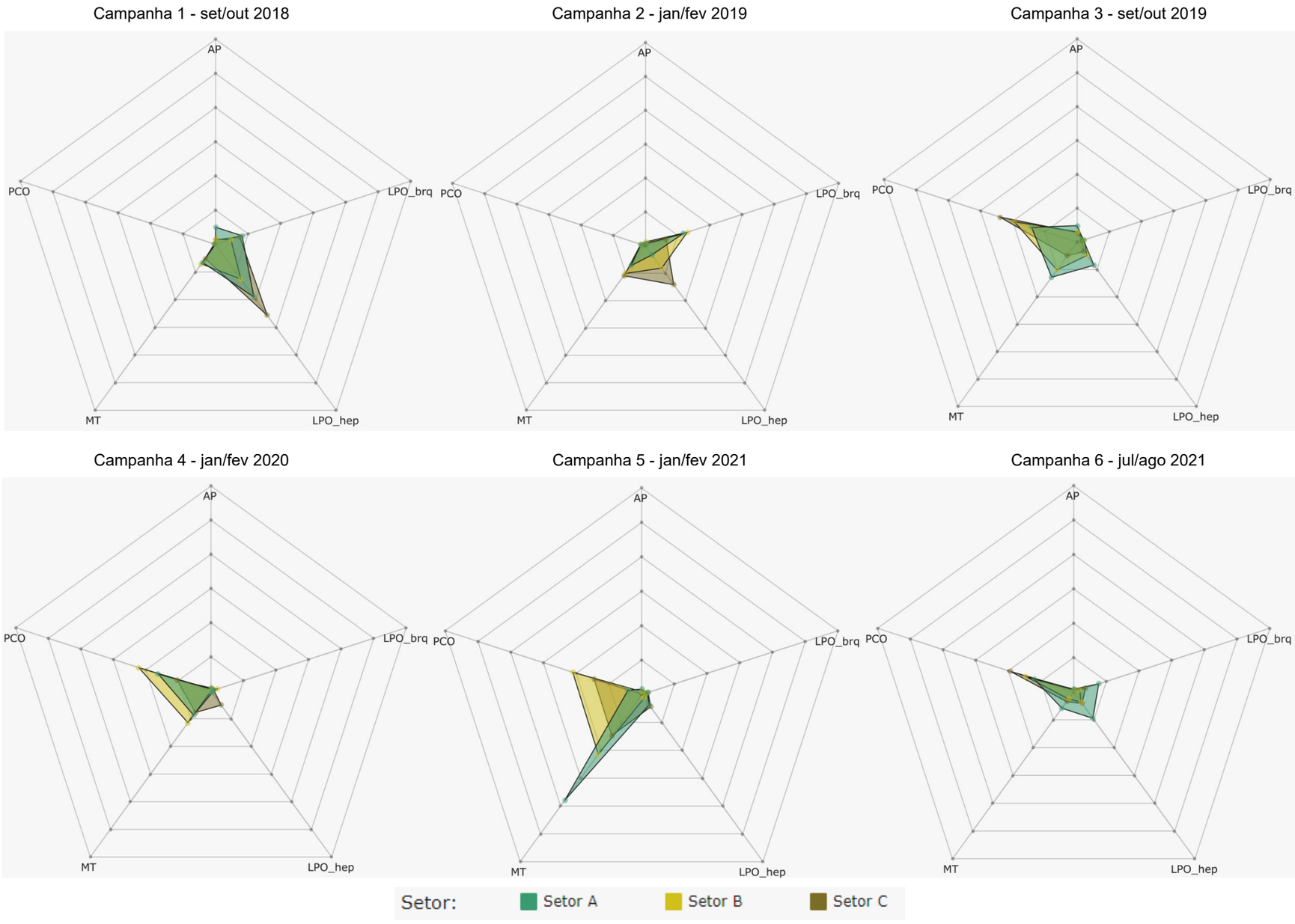
Figura 13: Valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos (brânquias, hepatopâncreas, músculo e hemolinfa de caranguejo da praia coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 (jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco ), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 - período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR – até a Campanha 12), Aracruz – Putiri (ARP – até a Campanha 12 e S3 – a partir da Campanha 13) e Praia Formosa (S2 – a partir da Campanha 13)]; Setor B [Comboios (DSC – até a Campanha 12, S6 – a partir da Campanha 13), Regência (DSR – até a Campanha 12, S7 – a partir da Campanha 13), Povoação (DNP – até a Campanha 12, N1 – a partir da Campanha 13) e Terra Indígena (S5 – a partir da Campanha 13)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC – até a Campanha 12), Pontal do Ipiranga (DNPI – até a Campanha 12), Urussuquara (DNU – até a Campanha 12), Guriri (DNG – até a Campanha 12 e N5 – a partir da Campanha 13), Degredo (N2 – a partir da Campanha 13), Barra Nova (N4 – a partir da Campanha 13) e Itaúnas (N6 – a partir da Campanha 13)]. As linhas verticais em preto representam o desvio padrão.



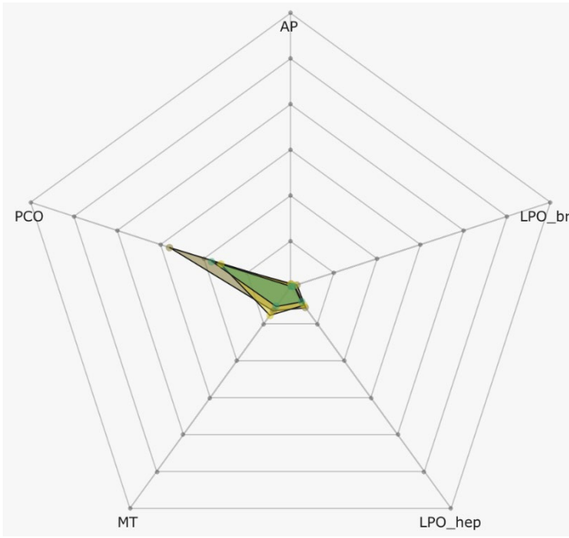

Comparando-se o gráfico de barras dos valores do IBR Biomarcador em caranguejos da praia (Figura 13) com aqueles do IBR Bioacumulação nestes animais (Figura 5), denota-se que as respostas bioquímicas analisadas não parecem estar diretamente associadas à bioacumulação dos contaminantes analisados nos tecidos dos caranguejos da praia, exceto pela similaridade de picos encontrados na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Além disso, embora haja uma tendência com relação à estabilização dos valores do IBR Biomarcador em todos os Setores avaliados ao longo do monitoramento, foi observado um aumento expressivo no valor deste índice na Campanha

10 (jun/jul 2023 - período seco), principalmente no Setor B, seguido pelo Setor C. A Campanha 14 (jul 2025 – período seco) apresentou os maiores valores do índice ao longo do período amostral, enquanto a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso) apresentou uma redução nos valores médios do IBR Biomarcador para todos os Setores, em relação à Campanha anterior. Apesar disso, destaca-se o Setor C, o qual apresentou terceiro maior valor. A partir das informações geradas, é possível inferir que houve estresse fisiológico e, possivelmente, danos genéticos nos caranguejos analisados, com um aumento destes efeitos biológicos na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), já que os biomarcadores responsáveis pela geração do IBR Biomarcador são aqueles que refletem o estresse oxidativo (lipoperoxidação – LPO e proteínas carboniladas - PCO), a proteção contra o efeito dos metais (metalotioneínas - MT) e os danos ao DNA (sítios AP), efeitos estes associados à contaminação ou perturbações no Ambiente Costeiro. Apesar disto, não foi observado evidente aumento na acumulação de metais e metaloides nestes animais durante a Campanha 10, o que pode sugerir a existência de condições estressantes adicionais. Em contextos especulativos, estas condições adicionais podem estar relacionadas a alterações em parâmetros climáticos, como a temperatura, ou até mesmo à presença de outros grupos de contaminantes, como àqueles do grupo dos orgânicos, como pesticidas. O Setor C foi, a partir da Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), o que apresentou os maiores valores do indicador, exceto pela Campanha 12 (jul 2024 – período seco), quando o maior valor foi atribuído ao Setor B.

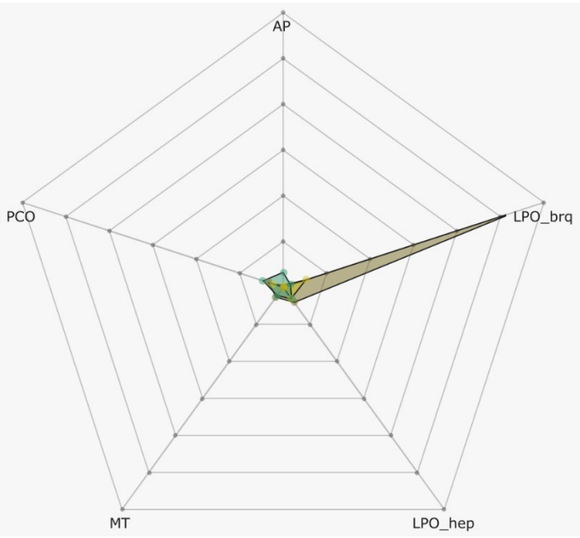
Figura 14: Gráficos de radar obtidos a partir dos valores médios do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcador) determinados para amostras de tecidos de caranguejo da praia coletadas durante a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), Campanha 2 (jan/fev 2019 – período chuvoso), Campanha 3 (set/out 2019 – período seco), Campanha 4 (jan/fev 2020 – período chuvoso), Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 6 jul/ago 2021 – período seco), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 8 (set/out 2022 – período seco ), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), Campanha 10 (jun/jul 2023 - período seco), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), Campanha 12 (jul 2024 - período seco), Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), Campanha 14 (jul 2024 – período seco) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). A ausência do monitoramento em ago/set 2020 – período seco, entre as Campanhas 4 e 5, foi devida a pandemia da COVID-19. Os biomarcadores analisados foram: lipoperoxidação nas brânquias (LPO_brq) e no hepatopâncreas (LPO_hep); concentração de metalotioneínas no hepatopâncreas (MT); proteínas carboniladas no músculo (PCO); e níveis de sítios AP (apurínicos/apirimídicos) da Campanha 1 à 8 na hemolinfa e a partir da Campanha 9 no músculo (AP). Classificação por Setores e por Estações de coleta: Setor A [Aracruz – Refúgio (ARR – até a Campanha 12), Aracruz – Putiri (ARP – até a Campanha 12 e S3 – a partir da Campanha 13) e Praia Formosa (S2 – a partir da Campanha 13)]; Setor B [Comboios (DSC – até a Campanha 12, S6 – a partir da Campanha 13), Regência (DSR – até a Campanha 12, S7 – a partir da Campanha 13), Povoação (DNP – até a Campanha 12, N1 – a partir da Campanha 13) e Terra Indígena (S5 – a partir da Campanha 13)] e Setor C [Vila de Cacimbas (DNC – até a Campanha 12), Pontal do Ipiranga (DNPI – até a Campanha 12), Urussuquara (DNU – até a Campanha 12), Guriri (DNG – até a Campanha 12 e N5 – a partir da Campanha 13), Degredo (N2 – a partir da Campanha 13), Barra Nova (N4 – a partir da Campanha 13) e Itaúnas (N6 – a partir da Campanha 13)].



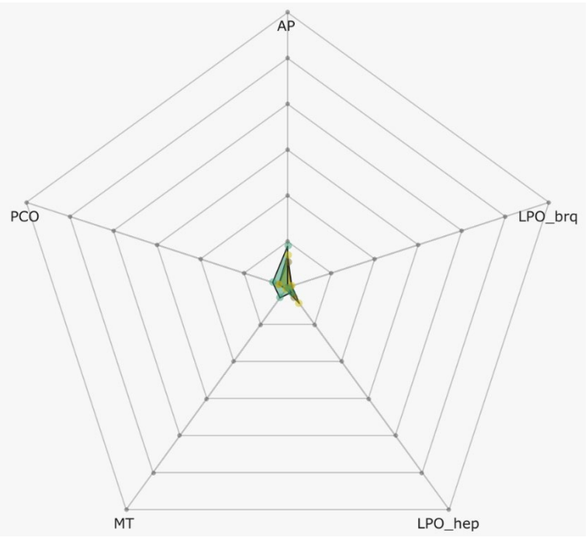
Campanha 7 - mar 2022



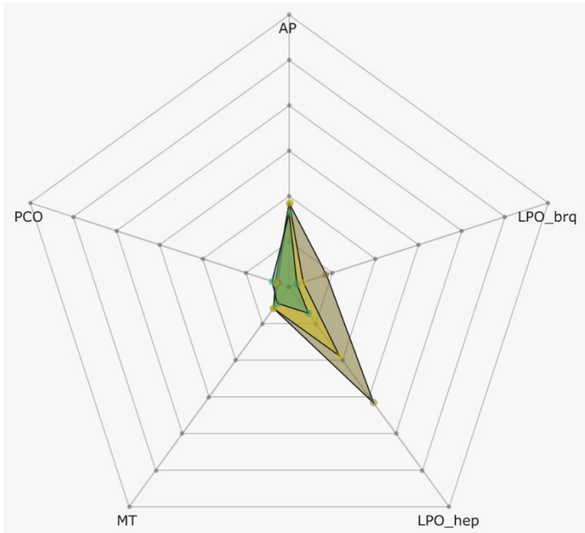

Campanha 8 - set/out 2022



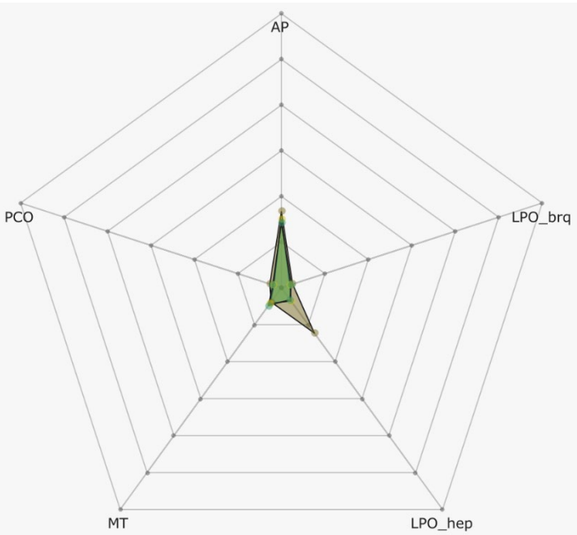

Campanha 9 – jan/fev 2023



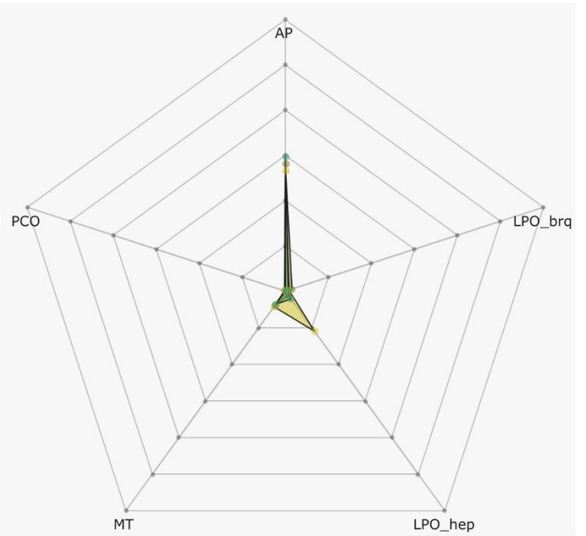

Campanha 10 - jun/jul 2023

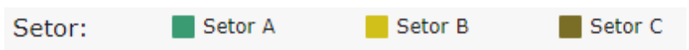



Campanha 11 - jan 2024

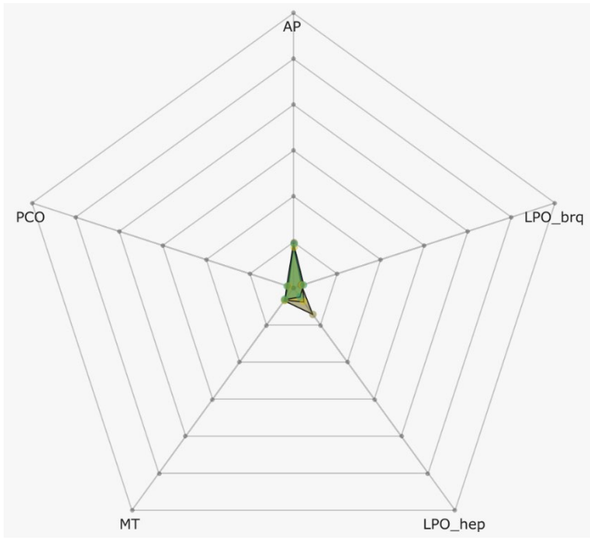



Campanha 12 – jul 2024

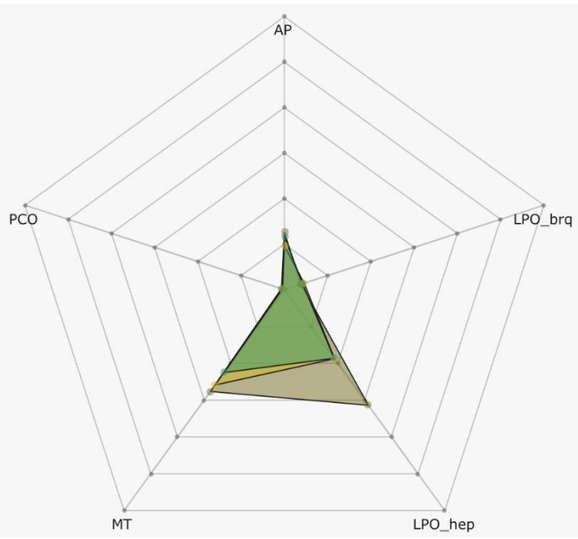


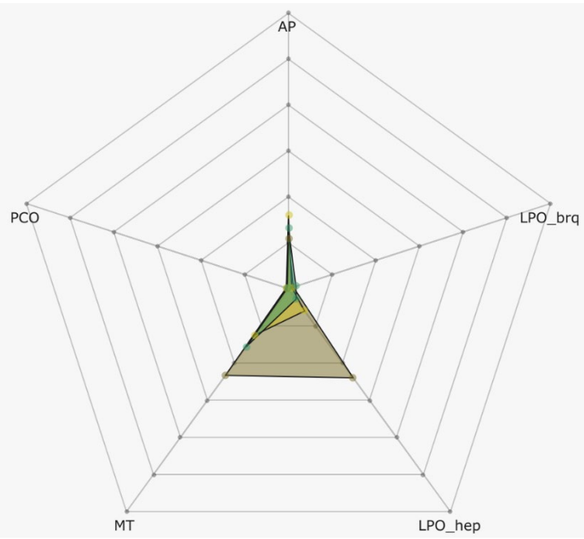
Campanha 13 - jan/fev 2025



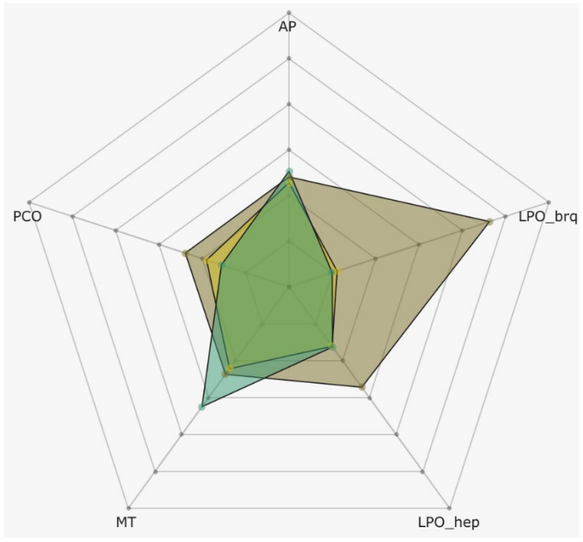

Campanha 14 - jul 2025

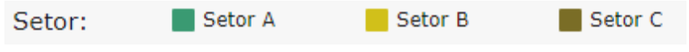



Campanha 15 – jan/fev 2026




Todas as Campanhas



Os gráficos de radar apresentados na Figura 14 mostram que a Campanha 10 (jun/jul 2024 – período seco) apresentou a maior diversidade de biomarcadores contribuindo para a composição deste índice. O Setor C apresentou o maior valor do IBR Biomarcador, sendo que este foi composto pelos biomarcadores sítios AP, LPO nas brânquias (LPO_brq), LPO no hepatopâncreas (LPO_hep) e MT. Ainda, neste Setor, os maiores valores do índice contaram com as contribuições dos biomarcadores sítios AP e LPO no hepatopâncreas (LPO_hep). No Setor A, os biomarcadores que contribuíram para a composição do índice foram sítios AP, LPO no hepatopâncreas (LPO_hep) e PCO, com destaque para os picos de valores de contribuição do sítio AP. Em relação ao Setor B, o valor do índice teve as contribuições dos biomarcadores sítio AP, LPO no hepatopâncreas (LPO_hep) e MT, com destaque para os valores dos dois primeiros. Interessantemente, o padrão de maior contribuição dos biomarcadores LPO_hep, AP e MT tem se mantido também ao longo dos últimos anos, a partir da Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), por mais que a resposta de cada biomarcador seja menos intensa, como evidenciado por picos e áreas menores nos gráficos de radar. Além disso, pouca variação espacial e temporal foi observada nos biomarcadores com maior nível de resposta nas Campanhas 14 (jul 2025 – período seco) e 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso). Nestas Campanhas, os biomarcadores de destaque foram MT, LPO_hep e, em menor escala, AP. Por fim, quando analisadas em conjunto geral, estas informações sugerem níveis de impacto relativamente constantes até o pico observado na Campanha 10 (jun/jul 2024 – período seco) e novo aumento da resposta dos biomarcadores nas últimas duas Campanhas, reforçando o caráter persistente, apesar de cíclico do estresse sofrido pelos caranguejos de praia.

# 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS ANOS DE MONITORAMENTO ACERCA DOS INDICADORES OBSERVADOS E O AMBIENTE MONITORADO

Para caranguejos de manguezais, os resultados do IBR Bioacumulação indicaram um aumento nos níveis de metais e As nos tecidos (brânquias, hepatopâncreas e músculo) dos indivíduos coletados nos períodos chuvosos de 2022 (Campanha 7: março 2022) e de 2026 (Campanha 15: jan/fev 2026) em relação a todas as Campanhas amostrais realizadas anteriormente no âmbito do PMBA/Fest-UFES. Na Campanha 7, para os caranguejos coletados no Setor A, destaca-se principalmente o aumento das concentrações teciduais de Hg e Zn, além de As, Cr, Cu, Fe e Pb, que tiveram contribuição notável para a composição do valor do IBR Bioacumulação. Por sua vez, nos caranguejos coletados no Setor B, representado pelo estuário do Rio Doce, destaca-se o aumento nas concentrações teciduais de Cd, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn. Os resultados obtidos para as Campanhas subsequentes (Campanha 8, set/out 2022 – período seco; Campanha 9, jan/fev 2023 – período chuvoso; Campanha 10, jun/jul 2023 – período seco; Campanha 11, jan 2024 – período chuvoso; Campanha 12, jul 2024 – período seco, Campanha 13, jan/fev 2025 – período chuvoso e Campanha 14, jul 2024 – período seco) revelaram uma redução importante nos níveis teciduais de metais e As nos caranguejos de manguezais em relação às Campanhas 7 e 15..

De maneira similar, os resultados do IBR Bioacumulação em caranguejos da praia indicaram um aumento considerável nos níveis de metais e As durante o período chuvoso de 2022 (Campanha 7: março 2022 – período chuvoso) e de 2026 (Campanha 15: jan/fev 2026), em comparação aos demais períodos amostrais. Aqui, vale destacar que este aumento foi observado nos três Setores analisados, incluindo o Setor C (Norte), que apresentou valores médios do índice superiores aos demais Setores, nestas Campanhas. É interessante destacar também que este aumento nos níveis de metais e As nos tecidos dos caranguejos da praia foi caracterizado por elementos diferentes, em cada Setor analisado. Os elementos que mais contribuíram para o valor do IBR Bioacumulação no Setor A foram o Zn, Cr e Fe. Em relação ao Setor B, os elementos que mais contribuíram para o valor do índice foram o Zn, As, Cd e Cu. Por fim, o valor do índice no Setor C foi composto principalmente pelos elementos Zn, As, Cd, Cu, Fe e Hg, com destaque para o Hg. Dentre os elementos que apresentaram uma maior contribuição para o IBR Bioacumulação na Campanha 7, cabe destacar o fato de que o Zn é um elemento comum aos três Setores avaliados. Além disso, vale destacar a ocorrência de um pico de Hg no Setor C, metal este que está presente apenas neste Setor. Na Campanha 15, os metais que mais contribuíram para o índice do Setor A foram o Cr, Fe, Pb e Zn, enquanto no Setor B, além destes metais, o Cd, Cu e Hg também tiveram participação na composição do valor do IBR Bioacumulação. Por sua vez, o IBR Bioacumulação no Setor C foi carcaterizado por valores expressivos dos metais essenciais Zn, Pb, Cr e Fe.

Os resultados do IBR Bioacumulação obtidos para os pequenos invertebrados (anfípodas e isópodas) coletados nas praias apontaram para uma tendência geral de diminuição nas concentrações totais de metais e As até a Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso), com os maiores valores do índice tendo sido associados à Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) para os setores A e C, enquanto o

maior valor do índice no setor B foi associado à Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). Entre a Campanha 1 (set/out 2018 – período seco) e a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), menores concentrações de metais e As foram observadas na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco; exceto para o Setor A nesta Campanha), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco; exceto para o setor B nesta Campanha), sugerindo assim a ocorrência de um impacto agudo associado ao curto período de tempo decorrido após o rompimento da Barragem de Fundão e a realização da Campanha 1 (set/out 2018 – período seco), o qual foi atenuado ao longo do tempo para os pequenos invertebrados da praia até a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). Porém, a tendência de menor contaminação observada nos Setores A e C até a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) foi interrompida por um novo e expressivo aumento transitório dos valores do IBR Bioacumulação na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), nos Setores A e C, evidenciando assim o potencial de dispersão da maior contaminação observada no Setor B (Foz do Rio Doce em Regência) na Campanha 10 para o Sul (Setor A) e para o Norte (Setor C) da Foz do Rio Doce (Setor B), no último período chuvoso (Campanha 11). Na Campanha 12 (jul 2024 – período seco), os valores do IBR Bioacumulação registrados foram semelhantes àqueles observados nos Setores A e C na Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco). Finalmente, os valores do IBR Bioacumulação foram semelhantes nos três Setores na Campanha 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), evidenciando assim uma distribuição homogênea dos contaminantes analisados na área de estudo no último período chuvoso. Destaca-se a redução dos valores de IBR Bioacumulação nas últimas Campanhas, apesar dos valores serem semelhantes à Campanhas mais iniciais, como, por exemplo a Campanha 11.

Os resultados do Índice de Resposta Biológica (IBR Biomarcadores) para caranguejos de manguezais apontam para um padrão geral de variação espacial, onde o setor B destaca-se sobre os demais Setores em cada Campanha, seguido pelo setor C. Contudo, uma variação importante neste padrão foi evidenciada no período chuvoso de 2022 (Campanha 7, mar 2022 – período chuvoso), onde os caranguejos do setor C apresentaram um aumento significativo no IBR Biomarcador em detrimento aos outros Setores amostrais. Este aumento se deve principalmente aos elevados níveis de lipoperoxidação (LPO_hep) e do conteúdo de metalotioneínas (MT), respostas biológicas que estão associadas a efeitos/exposição dos organismos a compostos tóxicos, tais como metais e metaloides. O mesmo padrão espacial foi observado para a Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), apesar de similaridade na contribuição dos biomarcadores para o IBR Biomarcador, com destaque para MT, AP e LPO. Sob o ponto de vista temporal, aumentos expressivos no índice foram observados no ano de 2022 (Campanha 7: mar 2022 – período chuvoso), 2023 (Campanha 10: jun/jul 2023 – período seco), 2025 (Campanha 14: jul 2025 – período seco) e 2026 (Campnaha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso). Neste contexto, os altos valores observados para o IBR Bioacumulação nesta mesma Campanha podem ajudar a compreender esse resultado, sugerindo, portanto, um impacto ambiental oriundo da maior contaminação nestes animais.

Para os caranguejos da praia, os resultados do IBR Biomarcador apontaram para uma tendência geral de diminuição na resposta biológica ao longo do tempo de monitoramento até a Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco), quando um aumento considerável no valor deste índice foi observado, indicando

assim um efeito estressor grande nesse período. Apesar da redução nos valores médios do índice entre as Campanhas 11 (jan 2024 – período chuvoso) a 13 (jan/fev 2025 – período chuvoso), o novo aumento conspícuo observado na Campanha 14 (jul 2025 – período seco) e na Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso), principalmente no Setor C, indicam estresse crônico nos organismos. É importante salientar que os biomarcadores de maior resposta nestas duas últimas Campanhas foram relacionados à exposição à metais e metaloides (MT) e peroxidação lipídica (LPO).

Para o caso do IBR Biomarcador nos pequenos invertebrados da praia (anfípodas e isópodas), um padrão de variação espacial interessante, e diferente do observado para os caranguejos, pôde ser observado. Durante as Campanhas 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), 6 (jul/ago 2021 – período seco) e 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) foi observado um aumento notável na resposta biológica destes organismos no setor C. Os resultados de outros temas do PMBA indicam que o Compartimento C tem se apresentado como a região da malha amostral mais severamente impactada pelo aporte do Rio Doce, onde maiores concentrações dos elementos químicos (Al, Ba, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e V) são encontradas na isóbata de 10 m, juntamente com os maiores teores de lama litoclástica, região na qual se encontram esses pequenos invertebrados. Neste contexto, vale ressaltar que os dados obtidos a partir do monitoramento ecotoxicológico, especialmente no que se refere à avaliação temporal das informações geradas, indicam que os maiores índices de contaminação e maiores impactos do MLD sobre a comunidade bentônica de praia e no sedimento dos manguezais também estão associados ao Setor C. Os teores de lama na antepraia se mantiveram altos durante todo o período de monitoramento, atingindo maiores níveis durante períodos chuvosos, quando também foram observadas as maiores concentrações de elementos químicos, tais como Al, Ba, Cr, Fe, Ni e Pb, relacionadas à alta vazão do Rio Doce nestes períodos, corroborando os resultados do IBR Biomarcador observados nos anfípodas e isópodas. Apesar disto, os valores de IBR Biomarcador observados nestes animais demonstra clara tendencia de redução a partir da Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) até o atual momento (Campanha 15: jan/fev 2026 – período chuvoso), onde valores basais podem ser observados.

Com relação aos resultados das quantificações de metais e As nas amostras de tecidos (penas e sangue) de aves costeiras, os valores do IBR Bioacumulação indicaram, de forma geral, menores níveis desses elementos nos períodos secos dos Anos 2, 3, 4, 5, 6 e 7. As diminuições observadas na Campanha 8 (set/out 2022 – período seco), Campanha 9 (jan/fev 2023 – período chuvoso) e Campanha 10 (jun/jul 2023 – período seco) ocorreram de forma semelhante ao que foi observado em outros organismos costeiros. Por outro lado, cabe destacar que os valores do IBR Bioacumulação nas aves costeiras aumentaram transitoriamente de forma marcante nos períodos chuvosos dos Anos 3, 4, 6 e 8, nos três Setores avaliados. Quanto aos valores de contaminação observados nos tecidos (penas e sangue) das aves costeiras na Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso), cabe destacar que estes atingiram os maiores valores até então observados ao longo de todo o período de monitoramento, nos três Setores avaliados. Apesar de terem sido observadas variações temporais significativas no nível de contaminação das aves costeiras por metais e As nos dois primeiros anos do monitoramento, ainda não havia sido possível identificar um padrão de tendência sazonal de bioacumulação desses elementos nesses organismos. No entanto, a partir do período seco do Ano 2, picos de concentração

de metais e As foram geralmente observados em várias Campanhas realizadas no período chuvoso (Campanhas 5, 7, 11 e 15). Além disso, cabe destacar que os valores do IBR Bioacumulação estão associados à distintos contaminantes nos diferentes períodos de coleta. Por exemplo, as aves costeiras coletadas durante o período chuvoso de 2022 (Campanha 7) apresentaram altos níveis de Fe e Zn nas penas e no sangue, indicando assim uma alta biodisponibilidade desse metal durante esse período de maior pluviosidade na Bacia do Rio Doce. Porém, no período chuvoso de 2024 (Campanha 11), as aves costeiras apresentaram níveis de contaminação expressivamente elevados de uma grande diversidade de metais, incluindo metais essenciais (Cu, Cr, Mn e Zn), bem como de metais não essenciais (Cd, Hg e Pb). Na Campanha 15, em contrapartida, o padrão de contribuição dos elementos para a composição do valor do IBR Bioacumulação foi semelhante nos três Setores, com destaque para o Cd. Isto indica a grande dificuldade na previsão em longo prazo da biodisponibilidade, bioacumulação e efeitos dos metais e As para os organismos de níveis tróficos mais elevados das cadeias tróficas do Ambiente Costeiro monitorado. Dentre os três Setores amostrados, os que apresentaram maiores índices e, possivelmente, encontraram-se mais impactados, foram os Setores B e C, sobretudo na Campanha 5 (jan/fev 2021 – período chuvoso), Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso), Campanha 11 (jan 2024 – período chuvoso) e Campanha 15 (jan/fev 2026 – período chuvoso).

No que se refere aos resultados referentes às quantificações de compostos orgânicos no sangue das aves costeiras, foi possível observar que os níveis destes contaminantes não apresentaram um padrão temporal evidente de variação, uma vez que as diferentes classes de contaminantes orgânicos estiveram associadas a Setores diferentes ao longo das seis primeiras Campanhas realizadas no âmbito do monitoramento. Isso pode ser reflexo da grande capacidade de deslocamento e uso de hábitats por parte desses animais, entre os diferentes ecossistemas costeiros. No entanto, cabe destacar o fato de que foi possível observar a formação de dois grupos de indivíduos coletados na Campanha 7 (mar 2022 – período chuvoso). No primeiro deles, as amostras provenientes da área de manguezal (Setor A) foram bem caracterizadas pela presença de pesticidas e HPAs. Por outro lado, no segundo grupo, as amostras provenientes da região de estuário (Setor B) e costeira (Setor C) se relacionaram com as concentrações de PCBs. Cabe destacar que, para PBDEs, todas as amostras analisadas ficaram abaixo do limite de quantificação para estes contaminantes. Por fim, vale lembrar que, após a Campanha 7, as análises de contaminantes orgânicos foram descontinuadas no âmbito do PMBA/Fest-UFES.

## 5 ITENS PREVISTOS E NÃO REALIZADOS: JUSTIFICATIVAS

Todos os itens previstos foram cumpridos para o Tema.

## 6 REFERÊNCIAS


BEAUCHAMP, G. (2009). Functional response of staging semipalmated sandpipers feeding on burrowing amphipods. *Oecologia*, 161(3), 651–655. https://doi.org/10.1007/S00442-009-1398-6/METRICS

DE OLIVEIRA GOMES, L. E., CORREA, L. B., SÁ, F., NETO, R. R., & BERNARDINO, A. F. (2017). The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, eastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 120, 28–36. https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2017.04.056

FERREIRA, A. D., DUCKWORTH, O. W., QUEIROZ, H. M., NÓBREGA, G. N., BARCELLOS, D., BERNARDINO, A. F., OTERO, X. L., & FERREIRA, T. O. (2024). Seasonal drives on potentially toxic elements dynamics in a tropical estuary impacted by mine tailings. *Journal of Hazardous Materials*, 474, 134592. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134592

LI, C., CHEN, J., LIAO, X., RAMUS, A. P., ANGELINI, C., LIU, L., SILLIMAN, B. R., BERTNESS, M. D., & HE, Q. (2023). Shorebirds-driven trophic cascade helps restore coastal wetland multifunctionality. *Nature Communications,* 14:1, 14(1), 1–14. https://doi.org/10.1038/s41467-023-43951-3

LOKESHAPPA, B., SHIVPURI, K., TRIPATHI, V., & DIKSHIT, A. K. (2012). assessment of toxic metals in agricultural produce. *Food and Public Health*, 2(1), 24–29. https://doi.org/10.5923/j.fph.20120201.05

PINHEIRO, M. A. A., SILVA, P. P. G. E., DUARTE, L. F. DE A., ALMEIDA, A. A., & ZANOTTO, F. P. (2012). Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucididae) and its food source, the red mangrove Rhizophora mangle (Angiosperma: Rhizophoraceae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 81, 114–121. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.05.004

RRDM, REDE RIO DOCE MAR (2022). Relatório Anual do PMBA/Fest-UFES-RRDM 2022 - Síntese integrativa entre ambientes. RT-39E, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Fundação Espírito-santense de Tecnologia. 150 pág.

SAIDON, N. B., SZABO, R., BUDAI, P., & LEHEL, J. (2024). Trophic transfer and biomagnification potential of environmental contaminants (heavy metals) in aquatic ecosystems. *Environmental Pollution*, 340, 122815. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122815

SAUX, A. LE, DAVID, E., BETOULLE, S., BULTELLE, F., ROCHER, B., BARJHOUX, I., & COSIO, C. (2020). New insights into cellular impacts of metals in aquatic animals. *Environments*, 7(6), 46. https://doi.org/10.3390/environments7060046

SEGURA, F. R., NUNES, E. A., PANIZ, F. P., PAULELLI, A. C. C., RODRIGUES, G. B., BRAGA, G. U. L., PEDREIRA FILHO, W. R., BARBOSA JR., F., CERCHIARO, G., SILVA, F. F., & BATISTA, B. L. (2016). Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). *Environmental Pollution*, 218, 813–825. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.005

SELVI, A., RAJASEKAR, A., THEERTHAGIRI, J., ANANTHASELVAM, A., SATHISHKUMAR, K., MADHAVAN, J., & RAHMAN, P. K. S. M. (2019). Integrated remediation processes toward heavy metal

removal/recovery from various environments-A review. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 1–15. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00066/BIBTEX

SICK, H. (1997). *Ornitologia Brasileira* (II). Editora Nova Fronteira.

SIGRIST, M. T. Q. T. (2006). *Aves Do Brasil: Uma Visão Artística*. Editora Avis Brasilis.

SPETTER, C. V., BUZZI, N. S., FERNÁNDEZ, E. M., CUADRADO, D. G., & MARCOVECCHIO, J. E. (2015). Assessment of the physicochemical conditions sediments in a polluted tidal flat colonized by microbial mats in Bahía Blanca Estuary (Argentina). *Marine Pollution Bulletin*, 91(2), 491–505. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.008

STEINMETZ, J., KOHLER, S. L., & SOLUK, D. A. (2003). Notes birds are overlooked top predators in aquatic food webs. *Ecology*, 84(5), 1324–1328. https://doi.org/10.1890/0012-9658

U.S. EPA. (2007). *Method 3015A (SW-846): Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts*. Revision 1. Washington, DC.

U.S. EPA. (2007). *Method 3050A: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils*. https://www.epa.gov/esam/epa-method-3050b-acid-digestion-sediments-sludges-and-soils

U.S. EPA. (1998). *Method 6020A (SW-846): Inductively Coupled Plasma—Mass Spectrometry*. https://19january2017snapshot.epa.gov/homeland-security-research/epa-method-6020a-sw-846-inductively-coupled-plasma-mass-spectrometry_.html

WALKER, C. H., HOPKIN, S. P., SIBLY, R. M., & PEAKALL, D. B. (1996). *Principles of Ecotoxicology*. Taylor & Francis.

WANG, W. C., MAO, H., MA, D. D., & YANG, W. X. (2014). Characteristics, functions, and applications of metallothionein in aquatic vertebrates. *Frontiers in Marine Science*, 1, 1–12. https://doi.org/10.3389/fmars.2014.00034/bibtex